

UNIVERSITÉ D'ALGER
FACULTÉ DES SCIENCES D'ALGER
ANNÉE 1933 — N° 1

CONTRIBUTION A LA MEILLEURE COMPRÉHENSION
DU
PROBLÈME DE L'AZOTE
DANS LES TERRES NORD-AFRICAINES

THÈSE

pour le Doctorat de l'Université d'Alger
(Mention Sciences)
présentée et soutenue publiquement le

27 MAI 1933

PAR

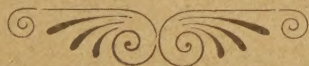
L. YANKOVITCH

CHEF DE TRAVAUX AU SERVICE BOTANIQUE ET AGRONOMIQUE
DE TUNISIE

MEMBRES DU JURY :

MM. MULLER, Prof. honoraire (Chimie générale), *Président*,

FOIX, Chimie générale, }
GUNTZ, Chimie (P. C. N.) } *Juges.*



TUNIS

SOCIÉTÉ ANONYME DE L'IMPRIMERIE RAPIDE DE TUNIS

5, rue Saint-Charles, 5

—
1933

Université d'Alger

FACULTÉ DES SCIENCES

Doyen.....	MM. ROUYER.
Assesseur.....	FOIX.
Secrétaire.....	GRANGAUD.

PROFESSEURS

Mathématiques.....	MM. CARRUS (O. ✱, I. ☿).
Mécanique rationnelle et appliquée.....	ROUYER (✱, I. ☿).
Astronomie et Astrophysique.....	LAGRULA (I. ☿).
Physique générale.....	WOLFERS (A. ☿).
Physique industrielle.....	VERAIN (I. ☿).
Chimie générale.....	FOIX (I. ☿).
Chimie appliquée.....	POUGET (✱, I. ☿).
Zoologie.....	SEURAT (I. ☿).
Botanique générale et appliquée.....	MAIRE (✱, I. ☿).
Géologie et minéralogie.....	SAVORNIN (I. ☿).
Minéralogie et cristallographie.....	ROYER (A. ☿).
Zoologie appliquée.....	DANTAN (I. ☿).
Géologie appliquée à l'agriculture et à l'industrie.....	DALLONI (✱, I. ☿).

PROFESSEURS SANS CHAIRE

Chimie (P. C. N.).....	MM. GUNTZ (I. ☿).
Zoologie (P. C. N.).....	ROSE (I. ☿).
Botanique agricole.....	KILLIAN (I. ☿).

MAITRES DE CONFERENCES

Mathématiques générales.....	MM. N.....
Physique (P. C. N.).....	MENDOUSSE.

CHEFS DE TRAVAUX

Physique.....	MM. GUEIFI (I. ☿).
Chimie.....	BERLANDE (I. ☿).
Chimie appliquée.....	SIROT (A. ☿).
Botanique.....	M ^{me} GAUTHIER.
Zoologie.....	M. GAUTHIER (✱, ☿, A. ☿).

PROFESSEURS HONORAIRES

MM. MULLER (✱, I. ☿).
BOUTAN (✱, I. ☿).
GONNESSIAT (✱, I. ☿).

UNIVERSITÉ D'ALGER
FACULTÉ DES SCIENCES D'ALGER
ANNÉE 1933 — N° 1

CONTRIBUTION A LA MEILLEURE COMPRÉHENSION
DU
PROBLÈME DE L'AZOTE
DANS LES TERRES NORD-AFRICAINES

THÈSE

pour le Doctorat de l'Université d'Alger
(Mention Sciences)
présentée et soutenue publiquement le 27 MAI 1933

PAR

L. YANKOVITCH

CHEF DE TRAVAUX AU SERVICE BOTANIQUE ET AGRONOMIQUE
DE TUNISIE

MEMBRES DU JURY :

MM. MULLER, Prof. honoraire (Chimie générale), *Président.*

FOIX, Chimie générale, }
GUNTZ, Chimie (P. C. N.) } *Juges.*



TUNIS

SOCIÉTÉ ANONYME DE L'IMPRIMERIE RAPIDE DE TUNIS

5, rue Saint-Charles, 5

1933





Digitized by the Internet Archive
in 2026

Table des Matières

	Pages
PRÉFACE.....	1
INTRODUCTION :	
I. <i>Aperçu rapide sur les conditions météorologiques des années des expériences</i>	1
II. <i>Considérations générales sur l'alimentation du blé</i>	3
a) Etude chimique sur l'accroissement du blé.....	3
b) A quel moment faut-il donner à la plante les substances fertilisantes ?.....	5
c) Dans quelle mesure le dosage des éléments fertilisants assimilables du sol peut renseigner sur le besoin en engrais ?	6
A. RECHERCHES SUR L'AZOTE NITRIQUE DU SOL :	
I. <i>Azote nitrique dans deux terres nord-africaines</i>	7
a) Choix de la méthode de dosage.....	8
b) Dans quelle mesure l'azote nitrique peut-il servir de critérium dans l'estimation de la productivité d'une terre ?....	9
c) Azote nitrique dans une terre à Maison-Carrée. — Etude de l'Institut Agricole d'Algérie.....	12
d) Azote nitrique dans les terres du Service Botanique et Agronomique de Tunisie.....	14
e) Azote nitrique des terres d'Angleterre et de France.....	23
II. <i>Azote nitrique dans les eaux de drainage</i>	25
a) Installation du Service Botanique et Agronomique pour l'étude des eaux de drainage.....	25
b) Organisation du travail.....	28
c) Infiltrations enregistrées.....	29
d) Concentration des eaux de drainage en azote nitrique.....	31
e) Quantité d'azote nitrique ayant traversé la couche de terre de 90 centimètres.....	35
f) Est-ce qu'il y a à craindre que l'azote nitrique de la terre puisse être perdu par l'infiltration ?.....	39
g) Fertilité, pluviométrie et perméabilité du sol en rapport avec l'assolement.....	41
h) Concentration en azote nitrique des eaux de drainage en Angleterre et en France.....	42
III. <i>Nitrification et dénitrification des engrais</i>	44

	Pages
IV. <i>Les autres formes de l'azote du sol</i>	52
a) Azote ammoniacal.....	52
b) Azote nitreux.....	57
c) Azote organique.....	58
V. <i>Résumé des recherches de laboratoire et conclusions</i>	59
B. EXPÉRIENCES SUR LE TERRAIN.....	63
C. EXPÉRIENCES DANS LES BACS DE 90 CENTIMÈTRES DE PROFONDEUR.....	73
D. CONCLUSIONS GÉNÉRALES DES EXPÉRIENCES SUR LES CULTURES.....	78

ANNEXE

<i>Dosage de l'azote nitrique dans les eaux de drainage par la méthode de Grandval et Lajoux</i>	82
<i>Dosage de l'azote nitrique dans les terres</i>	82
<i>Ouvrages consultés</i>	85

PRÉFACE

L'Agriculture, comme toutes les branches de l'activité humaine, a sa théorie et sa pratique. Mais tandis que la plupart des autres ont leur partie théorique bien développée et basée sur la mathématique ou la physique, sciences plus ou moins exactes, l'agriculture, qui doit se baser sur la connaissance du sol et de la plante, présente cette particularité qu'elle repose sur des sciences biologiques et doit tenir compte d'une multitude de facteurs variables.

D'autre part, les esprits les plus curieux et les plus profonds de l'humanité ont été, dans la majorité des cas, absorbés par les sciences physico-mathématiques, sciences de la ville; à la campagne, où l'on est toujours plus ou moins isolé, beaucoup de découvertes importantes ont été faites par l'observation; le praticien attribue la différence des rendements à celui des nombreux facteurs de production végétale qui lui semble être la cause la plus probable. Cette voie a amené l'établissement de plusieurs pratiques dont l'exactitude scientifique est souvent (avec beaucoup de retard) démontrée indiscutablement par la science agricole, comme c'est le cas de la fixation de l'azote atmosphérique par les légumineuses; souvent est expliquée plus ou moins bien, par exemple, l'augmentation de la fertilité par la jachère, sur laquelle nous connaissons beaucoup de choses; mais jamais nous ne pourrions savoir tout ce qui se passe dans le sol; enfin, il y a des observations de praticiens qui ne concordent pas avec des règles qui sont considérées comme très justes, parce que les conditions naturelles sont très différentes de celles où les règles ont été établies; ou parce que l'on a oublié jusqu'alors de s'occuper de la création de ces règles.

Ce dernier cas surtout est intéressant, parce qu'il soumet à l'étude des problèmes dont la solution, en complétant utilement nos connaissances théoriques, rendra service à l'agriculture régionale.

Parmi ces questions, le régime de l'azote dans les terres du Nord de l'Afrique et la technique de l'emploi des engrais azotés sont l'objet de discussions et d'appréciations très différentes chez les agronomes nord-africains, et il n'est pas douteux que les principes admis à leur sujet en France doivent être révisés dans le milieu particulier que l'on rencontre de l'autre côté de la Méditerranée.

Depuis 1927, nous avons entrepris l'étude de la possibilité d'emploi des engrais azotés dans l'Afrique du Nord. Dans ce travail, nous présentons tout ce qu'il nous a été possible d'établir jusqu'à ce jour.

Nous ne prétendons pas avoir réalisé des découvertes scientifiques importantes; nous avons essayé, simplement, d'apporter quelques

précisions sur des phénomènes de nature connue; ces précisions permettront, nous l'espérons, de faire profiter la culture des céréales (et d'autres plantes), dans l'Afrique du Nord, de données plus exactes sur la vie du sol et sur les possibilités qu'il présente pour le développement de l'agriculture nord-africaine.

Si les travaux que nous avons pu poursuivre pendant cinq à six ans, tant à l'Institut Agricole de Maison-Carrée qu'au Service Botanique et Agronomique de Tunisie, nous permettent aujourd'hui d'apporter une contribution à la technique de l'emploi des engrais azotés dans le Nord de l'Afrique, nous ne saurions oublier que nous le devons à un enchaînement heureux de circonstances, ainsi qu'au concours bienveillant de nombreuses personnes, à qui nous nous faisons un devoir d'exprimer toute notre gratitude :

M. L. BRÉTIGNIÈRE, notre professeur de l'Ecole de Grignon, dont la sollicitude nous a facilité l'admission dans le personnel de l'Institut Agricole d'Algérie à Maison-Carrée;

M. le Professeur C. ARAMBOURG, qui fut, à cet Institut, notre Chef et notre Maître et à qui nous sommes redevable de notre formation de chimiste, des premiers moyens de travail et des conseils les plus éclairés pour la mise en train de nos expériences;

MM. BONAFÉ, Directeur, DUCELLIER, VIVET, HUSSON, Professeurs, dont les entretiens ont été pour nous le milieu favorable aux études et nous ont fait bénéfice de leur expérience de l'agriculture nord-africaine;

M. le Professeur I. POUGET et M. D. CHOUGHAC, de la Faculté des Sciences d'Alger, auprès de qui nous avons pu parfaire nos études théoriques et pratiques de Chimie;

M. J. BŒUF, Chef du Service Botanique et Agronomique de Tunisie, qui nous a donné les moyens de poursuivre nos expériences dans le laboratoire et le domaine de ce Service et qui a bien voulu accepter la tâche de corriger, dans la mesure du possible, notre texte, dont la rédaction se ressent de notre connaissance imparfaite de la langue française;

M. le Professeur V. AGAFONOFF, qui, au cours d'une longue tournée en Tunisie, nous a enseigné à examiner les sols du point de vue de la pédologie;

M. H. SOULMAGNON, Professeur à l'Ecole Coloniale d'Agriculture de Tunis, qui nous a souvent fait profiter de sa connaissance de la Chimie agricole;

Enfin, M. V. NOVIKOFF, le dévoué Préparateur de notre laboratoire, qui devient pour nous un précieux collaborateur.

Ariana, Service Botanique et Agronomique, 4^{er} mars 1933.

INTRODUCTION

I. Aperçu rapide sur les conditions météorologiques des années des expériences

Comme l'indique déjà le titre du chapitre, ce n'est pas une étude développée du climat que nous envisageons, mais seulement une brève note sur les conditions météorologiques particulières des années pendant lesquelles les expériences furent réalisées sur l'action des engrais en général et des engrais azotés en particulier.

En 1927-28, les expériences ont eu lieu à Maison-Carrée. L'année météorologique présentait un écart sensible par rapport à une année moyenne. En novembre, on eut près de 235^{mm} de pluie, c'est-à-dire le double des précipitations moyennes; la terre, gorgée d'eau, n'a pas eu la possibilité de se remettre à l'état d'humidité normale, puisque, les quatre mois suivants, on a eu, en chiffres ronds, près de 400^{mm} de pluie; en avril, il plut fréquemment, mais par petites quantités à la fois (total mensuel : 23^{mm}); quant au mois de mai, il a été également pluvieux, avec 65^{mm} de précipitations environ, dont plus de 50 dans la deuxième décade.

L'année peut être caractérisée comme une année humide, la terre ayant été gorgée d'eau pendant quatre mois et étant restée plus humide que d'habitude au printemps. La croissance du blé se fit mal, et les rendements ont été plutôt faibles.

Les expériences des années suivantes ont eu lieu à l'Ariana, près de Tunis, au Service Botanique et Agronomique de Tunisie, où les terres sont argilo-calcaires; l'excès de pluies y est moins nuisible, parce que la terre se ressuie assez vite; elles ont, à ce point de vue, un grand avantage sur celles de l'Institut Agricole d'Algérie à Maison-Carrée.

L'humidité d'une de ces terres du Service Botanique, occupée par le blé en 1928-29, est représentée graphiquement, accompagnée des courbes de la température moyenne du sol, à des profondeurs différentes, pour les années 1924-28. (Voir graphique 1 plus bas.)

La pluviométrie des quatre années agricoles a été :

	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	Ju.	Jl.
1928-29	0	94	37	96	87	49	58	119	12	35	16	1
1929-30	0	24	22	50	56	38	81	54	53	19	10	14
1930-31	0	63	82	27	105	55	100	27	30	8	3	5
1931-32	0	9	52	46	293	9	103	40	16	9	5	
Moyenne 1900-1925....	0	25	45	58	45	65	51	46	36	20	9	2

L'année 1928-29 débuta par les fortes pluies de septembre. Les mois de novembre, décembre et mars, très pluvieux, donnent un cachet de froid et d'humidité à toute la période, jusqu'aux premiers jours d'avril. A ce moment, le temps change assez brusquement; les jours chauds et ensoleillés se succèdent jusqu'à la récolte; les pluies des mois d'avril et mai sont venues à temps pour maintenir l'action de celles de mars. La récolte a été bonne.

L'année 1929-30 fut remarquable par l'automne sec; il y eut même des difficultés pour effectuer les semailles de novembre, qui fut très beau et sec. L'hiver fut ensoleillé et très agréable; la terre n'était pas imbibée d'eau à 90 centimètres de profondeur jusqu'en février. Cet ensemble de conditions heureuses s'est traduit par le maintien des hautes concentrations dans le sol; les blés ont été de très belle couleur foncée et ont bien tallé. Les fortes pluies de février ont reconstitué les réserves du sous-sol en eau; le printemps, un peu plus froid que d'habitude et avec des pluies abondantes en mars et avril, a été également favorable au blé, qui a donné un très bon rendement et des produits de qualité supérieure.

Nous résumant en quelques mots, ce fut une année à hiver sec et chaud et à printemps froid et humide, avec peu de pluies, mais remarquablement réparties.

En anticipant sur notre exposé à venir, nous dirons que ces conditions ont été tellement favorables au sol qu'aucun engrais n'a pu manifester une action quelque peu marquée sur le rendement.

L'année 1930-31 fut assez pluvieuse dans le début et sèche au printemps; l'hiver relativement doux. La récolte a été assez bonne quoique le printemps, trop sec, fit courir le risque sérieux d'échaudage.

En 1931-32, l'automne a été normal, et les pluies de septembre et octobre ont été suffisantes pour permettre les semailles dans de bonnes conditions. Les pluies de novembre eurent lieu surtout vers la fin du mois; petites et répétées, elles permirent une germination normale.

Mais, au mois de décembre, un cyclone s'est abattu sur le pays, accompagné d'un vent violent et de pluies torrentielles. Les nitrates sont descendus profondément et il faut un certain temps pour que les racines les atteignent. Par contre, le mois de janvier a été très sec. Les pluies sont encore abondantes en février; elles deviennent normales en mars; et elles sont insuffisantes en avril et mai, diminuant les possibilités agricoles.

En résumé, l'année a été pluvieuse (582^{mm}); mais les pluies ont été mal réparties. La récolte est moyenne. Des quatre années examinées, elle est la plus médiocre.

Quoique nous ne tenions pas à étudier le climat, nous trouvons con-

venable, pour donner une caractéristique supplémentaire des terres nord-africaines du littoral, de présenter les températures du sol à différentes profondeurs (*Cf.* graphique 1).

II. Considérations générales sur l'alimentation du blé

a. ETUDE CHIMIQUE SUR L'ACCROISSEMENT DU BLÉ

Un grain de blé, que l'on confie au sol, pèse environ 40 mgr. et, si le développement de la plante était normal, cette plante fournirait à la récolte 7 gr. 5 environ de matière sèche dont 5 gr. de paille et 2 gr. 5 de grain. A raison de 100 plantes par mètre carré, la production d'un hectare est de 25 quintaux de grain et de 50 quintaux de paille ⁽¹⁾.

Comme les résultats d'analyses trouvés dans les ouvrages sont assez variables et se rapportent à des milieux différents, nous allons donner les chiffres obtenus au Service Botanique et Agronomique de Tunisie avec le Florence 135 après la jachère. Ces chiffres auront l'avantage d'être obtenus dans le même milieu et le même climat que nos autres analyses et études. La partie aérienne seule a été analysée; les plantes ont été coupées au ras du sol, à des époques indiquées au tableau 1, sur un ou deux mètres carrés, choisis dans un champ homogène.

Les chiffres du tableau 1 ont servi pour l'établissement du graphique de la composition centésimale de matière sèche (séchée à l'étuve) et de l'assimilation des éléments minéraux sur la surface d'un hectare (voir graphique 2).

Quoique nos graphiques soient établis pour la quantité totale des éléments par hectare (et non comme dans l'ouvrage de GAROLA qui préfère présenter la marche de l'absorption des principes nutritifs en centièmes des maxima), on peut se rendre compte que les modes d'absorption des divers éléments fertilisants du sol présentent certaines différences.

La germination est accompagnée d'une perte de poids, sans pertes en éléments fertilisants

Le tallage a lieu plus tôt qu'en France septentrionale. Son début dépend de plusieurs facteurs : époque des semailles; température et autres conditions météorologiques de novembre; richesse du sol en éléments assimilables; aptitudes particulières de la variété. Dans le cas donné, avec semailles un peu tardives au 1^{er} décembre, le tallage était à peine marqué le 9 janvier.

(1) Dans la pratique, on sème toujours 200-300 grains par m² pour couvrir les pertes causées par les insectes, les oiseaux, etc.

TABLEAU 1

*Absorption des éléments minéraux par le Florence 135 après la jachère
au Service Botanique et Agronomique de Tunisie, 1930-31*

COMPOSITION CENTÉSIMALE DE LA MATIÈRE SÈCHE DES PLANTES ENTIÈRES
SANS RACINES

	Semis	9 janvier	3 mars	4 avril	4 mai	Maturité
Matière sèche (% du poids frais).....		14.6	49.4	24.05	44.4	89.3
Azote	1.5	5.80	2.85	1.38	1.17	1.14
P ² O ₅	1.0	1.92	0.53	0.50	0.35	0.33
K ² O.....	0.6	5.57	4.47	2.86	»	1.38
Ca O.....		1.31	1.36	0.68	»	0.64

POIDS EN KILOGRAMMES PAR HECTARE :

Matière sèche	(100)	69.5	1.820	5.120	7.680	8.126
Azote.....	1.500	4.031	51.870	70.656	89.856	92.636
P ² O ₅	1.000	1.334	9.646	25.600	26.880	26.816
K ² O.....	0.600	3.871	81.354	146.432	»	112.239
Ca O.....		0.900	24.756	34.816	»	52.006

L'accroissement véritablement intense de la matière sèche végétale par hectare ne commence qu'en mars. Il est accompagné de la diminution de la teneur centésimale de la plante en éléments fertilisants. Pendant que la teneur centésimale baisse, la quantité absolue de l'élément augmente dans la récolte à l'hectare. L'examen des chiffres du tableau 1, qui sont rendus plus éloquents par le graphique 2, montre que l'abaissement de la teneur en acide phosphorique est plus fort, proportionnellement, que celui des autres éléments, et il se marque plus tôt que celui d'azote; que la teneur centésimale en azote varie plus que celle en potasse; que la teneur en potasse se maintient constamment la plus élevée.

La quantité des éléments minéraux fertilisants assimilés par hectare n'augmente pas suivant une ligne droite ou une courbe régulière, mais décrit (au moins dans notre cas) des courbes particulières pour chacun d'eux. L'azote marque un certain ralentissement au début d'avril, mais reprend ensuite pour s'arrêter en mai, peu de temps avant la maturité, quand la plante commence à mourir. L'acide phosphorique de la récolte est assimilé principalement en mars; la ligne

de la potasse montre avec quelle rapidité le blé peut l'assimiler, en février et mars, dans notre terre; elle fléchit fortement en mai, quand les feuilles sont mortes et se détachent en partie.

b. A QUEL MOMENT FAUT-IL DONNER A LA PLANTE LES SUBSTANCES FERTILISANTES ?

Quant à l'acide phosphorique et à la potasse, l'agriculteur n'a pas à choisir. Vu la faible mobilité de ces éléments après leur incorporation au sol, on est obligé de les lui apporter avant les semailles. Quant à l'azote, il est possible de le fournir ou avant les semailles, ou au moment des semailles, ou à une date variable au cours de la végétation. En France, dans les régions de culture intensive, on cultive le blé dans une terre qui a été fortement fumée pour la culture précédente (betterave à sucre ou pomme de terre); l'engrais azoté est incorporé en deux fois : 1) avant les semailles, sous forme de sulfate d'ammoniaque; 2) au début de tallage, en mars ou au commencement d'avril, sous forme de nitrate de soude. Il semblerait superflu de mettre l'azote en automne dans une terre qui a été maintenue en état de grande productivité par les fumures copieuses précédentes. Cependant, la pratique et les expériences prouvent qu'au moment de la germination, il faut avoir un milieu riche. Des résultats intéressants concernant l'effet des engrais sur la germination et sur le rendement total se trouvent dans l'ouvrage de SCHREIBER (« Le Sol et les engrais », t. II) et dans les nombreux essais entrepris en France en 1930-31 par l'Institut des Recherches Agronomiques. Il résulterait de ces expériences que les engrais ont une très grande influence sur le rendement par leur action sur la germination et le développement pendant la première période de la vie de plante.

Nous avons démontré que, dans deux terres nord-africaines, dont l'une est celle de l'Institut Agricole d'Algérie et l'autre celle du Service Botanique et Agronomique de Tunisie, toutes les deux de teneur moyenne en azote, l'azote assimilable est abondant en automne après la jachère et même après une autre culture (L. Y., 1929b et 1930c) ⁽¹⁾; pour en profiter, il faut employer des variétés qui permettent des semailles suffisamment précoces, au début de novembre; nous avons énoncé que l'application automnale de l'azote est sans influence sur le rendement. Quant à l'application au printemps, les essais sont peu nombreux; ils permettent quelques conclusions que nous allons donner plus loin.

Comme nous l'avons indiqué dans une de nos notes (L. Y., 1930 d)

(1) On trouvera l'extrait de ces notes Chap. A, § I, c) et d).

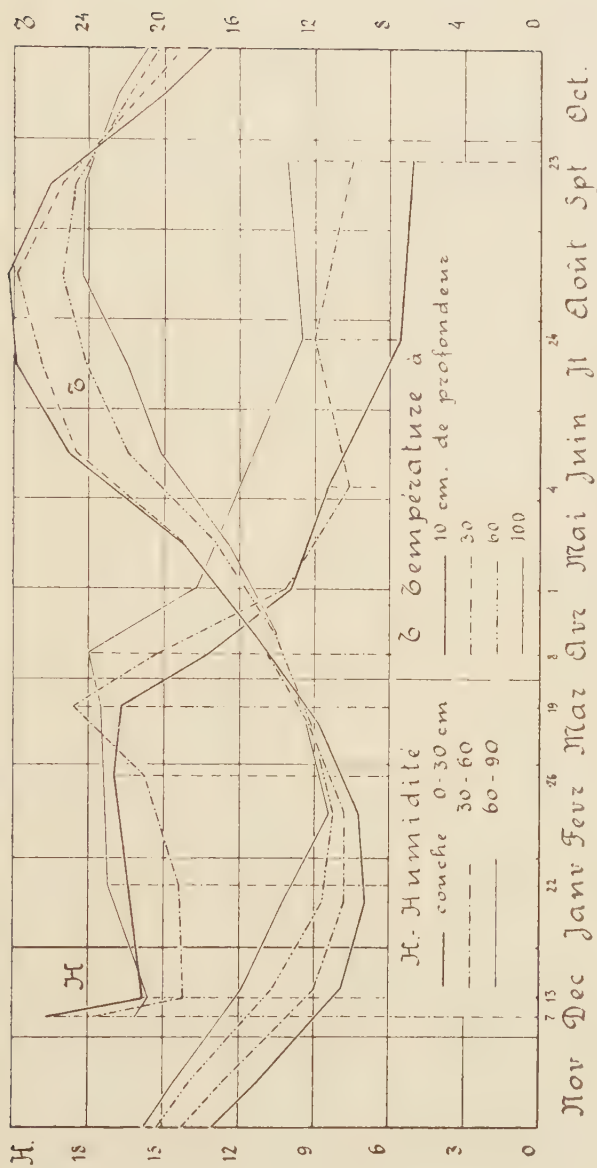
précédentes, plusieurs chercheurs ont trouvé que l'application tardive des engrais azotés, au printemps, agit beaucoup plus sur la teneur du grain en azote que sur le rendement. Cependant, et on le verra dans le chapitre B, le rendement est aussi augmenté, et il importerait de continuer des essais pour être définitivement fixé sur l'importance économique de ces applications printanières des engrais azotés en couverture.

C. DANS QUELLE MESURE LE DOSAGE DES ÉLÉMENTS FERTILISANTS
ASSIMILABLES DU SOL PEUT RENSEIGNER SUR LE BESOIN EN ENGRAIS

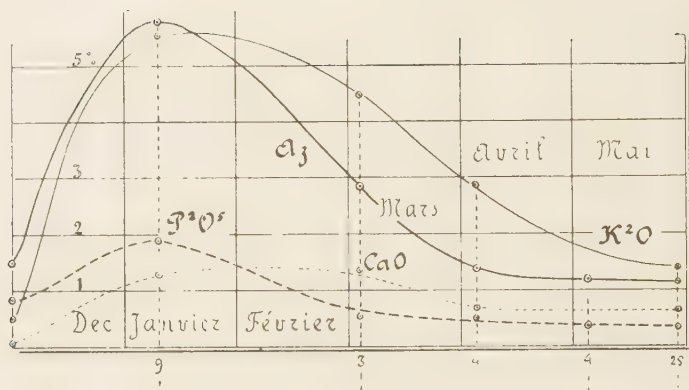
Une récolte de 25 quintaux de grain, avec la paille qui lui correspond, enlève au sol 92 kg. 5 d'azote, 27 kilos d'acide phosphorique et 112 kilos de potasse.

Les tentatives déjà anciennes et nombreuses de déterminer la quantité d'éléments assimilables qui existent dans le sol ont donné diverses méthodes qui sont à l'honneur de plusieurs agronomes-chimistes quant à leurs originalité et précision. Toutes ces méthodes chimiques contiennent quelques possibilités d'erreur; d'abord, l'estimation n'est exacte que quant à l'échantillon prélevé et au moment de ce prélèvement; or, la quantité des éléments assimilables est une grandeur variable dans le temps et suivant le travail que le sol a subi; ensuite, les dosages des éléments assimilables n'indiquent que relativement les possibilités de la récolte; pour le jugement, il est absolument nécessaire de baser des conclusions sur des études très détaillées, préalables, des rapports entre la teneur d'un type donné de sol en éléments assimilables, d'une part, et les rendements, de l'autre. Par exemple, le dosage de l'acide phosphorique d'une terre argilo-calcaire, soluble dans l'eau distillée contenant un peu d'acide carbonique, par la méthode au strychno-molybdate, donne des résultats très faibles, 2-5 kilos de $P^2 O_5$ par hectare; cependant, la récolte de blé est capable d'en absorber 27 kilos par hectare dans ses parties aériennes. Par contre, l'azote nitrique se trouve souvent en grande quantité, dépassant les besoins de la récolte, sans compter qu'en cours d'hiver les pluies apportent encore de l'azote assimilable et que les microbes du sol en fournissent également. Cette abondance d'azote assimilable détermine de bonnes récoltes, mais n'exclut pas la possibilité de les augmenter encore et d'améliorer leurs qualités.

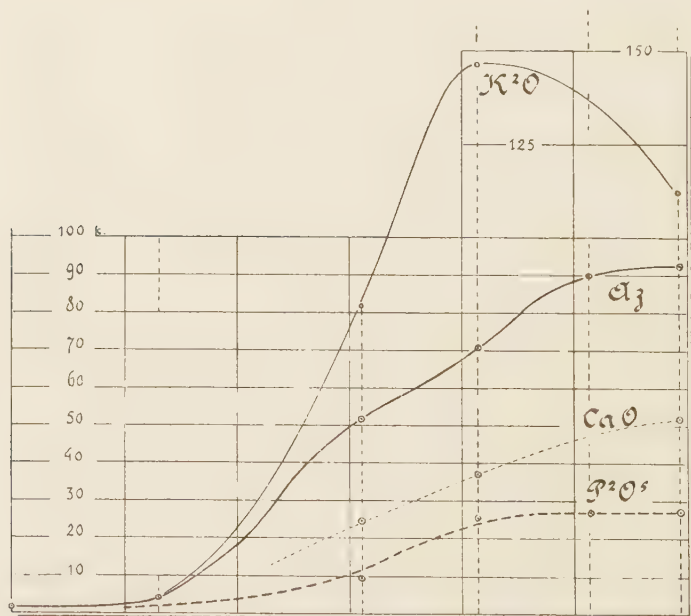
Le dosage des éléments assimilables, pour devenir une méthode agronomique sûre, devrait se faire, par des méthodes préalablement bien étudiées et adoptées, pendant la durée totale de l'assolement habituel (ou, au moins, à un moment fixe de cet assolement), et être rapporté aux résultats culturaux obtenus sur cette terre. A partir de ce moment, l'étude est complète et peut servir dans l'estimation de la



GRAPHIQUE 1. — Température moyenne mensuelle du sol au Service Botanique et Agronomique de Tunisie, à l'Ariana. (Humidité mesurée en 1928-29 dans un champ de blé après jachère.)



GRAPHIQUE 2 a. — Composition centésimale de la matière sèche, déterminée avec le Florence 135. (1930-31.)



GRAPHIQUE 2 b. — Éléments fertilisants, en kilogrammes par hectare. Florence 135.

capacité productive d'une terre, sous la condition de l'égalité dans la préparation du sol (labours).

Dans la plupart des cas de la pratique, on peut appliquer la méthode de l'expérimentation directe, en suivant la voie indiquée par G. VILLE. La plante réagit à l'apport de certains éléments et ne réagit pas aux autres, d'où la conclusion que les premiers sont utiles, manquent au sol, et que les seconds sont superflus. Tout en ayant le grand mérite d'être simple et sûre, cette méthode, qui convient parfaitement aux agriculteurs désireux de trouver la meilleure fumure de leurs terres, peut être considérée comme insuffisante pour les buts de la recherche agricole : elle n'indique pas le pourquoi, elle ne donne pas satisfaction à l'esprit humain, avide de savoir.

Nous n'avons pas la prétention d'avoir résolu les problèmes posés. Puisse ce travail être un simple pas en avant vers l'emploi rationnel des engrais azotés.

Le dosage de l'azote nitrique dans la terre a été la base de nos recherches et nous a permis de mettre un peu de lumière dans cette question, jusqu'alors à peine ébauchée dans l'Afrique du Nord,

A. RECHERCHES SUR L'AZOTE NITRIQUE DU SOL

I. Azote nitrique dans deux terres nord-africaines

Un agronome qui arrive de France dans l'Afrique du Nord est étonné que ni les anciens agronomes du pays, ni les agriculteurs ne lui donnent des précisions sur l'emploi des engrais azotés. Si l'on peut encore avoir des renseignements assez exacts sur l'emploi des engrais phosphatés et potassiques, l'azote est un élément de discussion, un élément sur lequel les opinions ne concordent pas.

G. ANDRÉ, de l'Institut National Agronomique de Paris, a exprimé l'opinion que la fixation de l'azote dans les terres nord-africaines est considérable et que cette quantité pourrait être suffisante pour les besoins des récoltes des céréales en azote.

I. POUGET, Professeur à la Faculté d'Alger, a entrepris, en 1907-1908, l'étude de l'azote nitrique dans la terre de l'Institut Agricole d'Algérie à Maison-Carrée et est arrivé à la conclusion que les céréales manquent d'azote au printemps.

Depuis, les essais de E. MIÈGE, au Maroc, permettent la conclusion que les engrais azotés ont une action généralement favorable, surtout si leur application a lieu aux semailles.

Quelques premiers essais de l'application automnale des engrais azotés sur les céréales à Maison-Carrée ne nous ont pas donné les

résultats espérés. Puisque les expériences ont été réalisées soigneusement et correctement, il était impossible de ne pas en tenir compte; on a été obligé de conclure à la suffisance de l'azote dans la terre ou à l'inefficacité des applications automnales des engrais azotés.

En 1927-28, nous avons commencé à chercher la cause de la non-réussite de nos premiers essais en déterminant les quantités d'azote assimilable du sol, nous engageant ainsi sur la voie de I. POUGET.

A partir de 1928, quatre ans d'études au Service Botanique et Agromomique de Tunisie, à L'Ariana, nous ont permis de développer et compléter les recherches précédentes. Nous réunissons dans ce chapitre toutes les données obtenues par la détermination de l'azote nitrique du sol.

a. CHOIX DE LA MÉTHODE DE DOSAGE

La forme la plus assimilable d'azote du sol est l'azote nitrique. Il n'est pas retenu par le pouvoir absorbant du sol. Pour le mobiliser, une simple agitation de la terre avec l'eau distillée est suffisante.

Les méthodes de dosage de l'azote nitrique sont nombreuses. Quelques méthodes colorimétriques permettent la détermination exacte de l'azote nitrique en opérant sur 0 mgr. 1 :

la méthode avec le réactif de GRANDVAL et LAJOUX : acide sulfophénique;

la méthode avec la brucine, citée par GUEDROÏTZ;

la méthode par la diphénylbenzidine (id.).

Deux méthodes sont proposées pour le dosage de l'azote nitrique après la transformation en azote ammoniacal :

1) par le réactif DEWARDA, avec le dosage de l'azote ammoniacal par le réactif de NESSLER (WOÏDICH);

2) par l'action de l'acide sulfurique sur le fer réduit (R. LUCAS et W. HUSCHBERGER).

La transformation de l'azote nitrique en azote ammoniacal présente l'inconvénient de faire, au préalable, une détermination supplémentaire de l'azote ammoniacal.

Si l'on veut opérer sur de grandes masses de terre et de forts volumes de liquide, on peut appliquer la méthode classique de SCHLOESING par la mesure du volume de NO obtenu par l'action de l'acide nitrique du sol sur le chlorure ferreux en présence d'acide chlorhydrique.

La méthode de PELOUZE, plus élégante, ne paraît pas convenir à cette détermination, à cause de la réaction possible du permanganate sur les matières organiques solubles du sol.

Nous avons fait toutes nos déterminations par le réactif de GRANDVAL et LAJOUX. Notre mode opératoire est exposé à la fin de cette note.

b. DANS QUELLE MESURE L'AZOTE NITRIQUE PEUT-IL SERVIR DE CRITÉRIUM
DANS L'ESTIMATION DE LA PRODUCTIVITÉ D'UNE TERRE ?

L'azote engagé dans les molécules de nitrate de chaux et de nitrate de potasse, dit plus simplement azote nitrique, est une forme d'azote parfaitement assimilable et non retenue par le pouvoir absorbant des terres. Sa quantité, déterminée par une analyse à un moment donné de l'année, peut exactement renseigner l'agronome sur les possibilités de fournir à la plante l'azote trouvé sous cette forme, intégralement, sous la condition que cette quantité ne soit pas diminuée par l'infiltration ou par la dénitrification. Ce raisonnement explique pourquoi les plus célèbres stations agronomiques, comme Grignon en France, et comme Rothamsted en Angleterre, et les plus grands agronomes, ont étudié avec tant d'attention la quantité d'azote nitrique dans les terres et les eaux d'infiltration, ainsi que l'intensité de la dénitrification et de la fixation de l'azote.

La quantité d'azote nitrique n'est pas toute la disponibilité d'une terre; cette terre continue à subir la désagrégation des molécules compliquées de ses matières organiques azotées, continue à reformer ses amides et son azote ammoniacal, qui sont transformés, au fur et à mesure de leur production, en azote nitreux et nitrique. Ainsi, un champ qui, pour une raison quelconque, ne contient que peu d'azote nitrique aux semailles, peut cependant être très fertile, parce qu'il est pourvu d'une quantité suffisante d'engrais ou de matières organiques aptes à une décomposition rapide.

Mais si, dans la même région climatérique, nous voulons comparer la fertilité de quelques terres différentes, dont les labours ont été faits avec les mêmes soins, les quantités d'azote nitrique présentes dans des échantillons prélevés au moment des semailles seront en rapport avec la fertilité (capacité de production) de ces terres. Comme nous ne cultivons dans le sol aucune espèce définie de microbes, nous avons affaire à l'ensemble de la population microbienne, et cet ensemble a ses exigences moyennes. Il fournit, comme résultante, une certaine quantité d'azote nitrique, qui peut servir (si nous considérons la dénitrification comme nulle) de critérium de fertilité, dans la même mesure que la quantité d'acide carbonique dégagée par le sol, que de nombreux auteurs considèrent comme indice certain de la fertilité.

Pour démontrer que ce raisonnement est valable, nous présentons ici les rendements en blé, à la batteuse, au Service Botanique et Agronomique de Tunisie, en 1930-31 (tableau 2).

TABLEAU 2

*Influence de l'azote nitrique contenu dans la couche de 0 à 90 cm.
de profondeur d'un hectare sur le rendement en blé*

(Service Botanique et Agronomique de Tunisie, 1930-31)

ASSOLEMENT ADOPTÉ : 1) jachère. 2) blé. 3) jachère.

4) blé. 5) vesce. 6) blé, ou orge, ou avoine.

Place dans l'assolement	Azote nitrique en kilos par hectare	VARIÉTÉ	Rendement en grain par hectare	Moyenne
-------------------------------	---	---------	--------------------------------------	---------

BLÉS DURS

4	120	Biskri Ac ²	13.2	Qx. 14.06
4	id.	Hamira Ac ⁵	13.9	
4	id.	Sbei 7.....	13.7	
4	id.	Mahmoudi Ap ³	14.4	
4	id.	Mahmoudi Ap ⁴	15.1	
6	44	Abiod 195.....	9.2	9.20

BLÉS TENDRES

2	120	Baroota 52.....	16.4	Qx. 17.50
2	id.	Pusa × Florence 380.....	19.8	
2	id.	— — 381 b.....	18.5	
2	id.	— — 381 c.....	20.7	
2	id.	— — 387.....	20.6	
2	id.	Florence 135..	13.7	9.35
2	id.	Richelle × Florence.....	14.4	
4	id.	Pusa × Florence 381 a.....	16.4	
6	44	Richelle 110 c.....	8.0	
6	id.	Irakié 231.....	8.5	
6	id.	Mahon 124 A.....	10.9	9.35
6	id.	— 73.....	10.0	

Il est préférable de ne comparer que les blés tendres entre eux et les blés durs entre eux, également.

Il ne s'agit pas de démontrer une proportionnalité, mais une corrél-

lation positive. L'importance de l'azote nitrique peut être démontrée par le raisonnement suivant :

Prenant l'exemple du blé tendre, nous pouvons considérer le rendement moyen de 17 qx 5 comme étant donné par deux formes d'azote :

1) azote nitrique existant au moment des semailles, 120 kilos dans la couche de 90 centimètres de profondeur d'un hectare, et 2) par les autres formes d'azote. En mettant qu'un kilo d'azote nitrique produit (en année normale) N kilos de grain, et qu'un kilo d'autres combinaisons azotées produit A kilos, nous avons deux équations :

$$120 N + X A = 1.750 \text{ kilos;}$$

$$44 N + X' A = 935 \text{ kilos.}$$

Par soustraction et en admettant $X=X'$ (nous verrons plus loin qu'en le faisant on ne commet pas une grande erreur) :

$$76 N = 815 \text{ kilos de grain;}$$

$$N = 10 \text{ kilos } 724.$$

1 kilo d'azote nitrique existant dans le champ au moment des semailles est capable de produire 10 kg. 3/4 de grain.

$X A = 1.750 - (10.724 \times 120) = 463$ kilos de grain; ce chiffre indique quelle serait la productivité de notre terre si elle était travaillée négligemment et sans prendre de soins pour y accumuler de fortes quantités d'éléments assimilables; 463 kilos de grain, c'est, en effet, le chiffre voisin du rendement moyen d'une culture arabe, quand le labour est superficiel, mal fait et précède immédiatement les semailles.

Le blé dur donne des résultats assez différents, mais la comparaison avec une seule variété cultivée à la sixième place de notre assolement est hasardeuse ⁽¹⁾.

Evidemment, un exemple ne justifie pas une règle, mais il est utile de le signaler à l'attention, afin que la règle ait quelques chances d'être formulée.

Le problème pour le $X A$ reste pour le moment insoluble.

(1) Les années précédentes, la sixième place était réservée pour l'orge et l'avoine exclusivement, et la comparaison des rendements des divers champs d'assolement devient impossible,

C. AZOTE NITRIQUE DANS DES TERRES A MAISON-CARRÉE
(Etude de I. POUGET et GUIRAUD)

La première étude de l'azote nitrique dans la terre d'un champ en Afrique du Nord est due à POUGET et GUIRAUD (1909). Nous lui empruntons les chiffres qui se rapportent à la teneur des terres en azote nitrique.

Deux endroits ont été choisis dans les parties homogènes de deux champs de blé de l'Institut Agricole d'Algérie, à Maison-Carrée; ces endroits ont été laissés sans végétation et sans travail pendant toute la durée de la culture; les analyses d'échantillons prélevés jusqu'à la profondeur de 0^m 50 ont donné les résultats indiqués dans le tableau 3 ci-dessous.

TABLEAU 3

*Azote nitrique, en milligrammes par kilogramme de terre sèche
dans deux échantillons de terre, à Maison-Carrée (Alger)*

(POUGET ET GUIRAUD)

	1907		1908				
	18 décembre	15 janvier	22 janvier	29 janvier	12 février	27 février	
Echantillon A...	4.0	»	5.5	»	2.5	»	
— B...	»	2.9	»	6.2	2.1	4.5	

		1908					
	30 avril	8 mai	22 mai	6 juin	13 juin	20 juin	2 juillet
A.....	Traces	Traces	1.6	»	5.4	3.6	2.7
B.....	Traces	Traces	3.7	6.3	7.6	7.3	6.0

En calculant, d'après ces chiffres, la quantité d'azote nitrique d'un hectare, nous avons pu dresser la courbe présentée par le graphique 3.

On voit nettement que la couche intéressée est pauvre en azote nitrique en mars, avril et début de mai, à cause de pluies abondantes d'hiver et de printemps.

Etude faite à l'Institut Agricole d'Algérie

Nous avons entrepris quelques déterminations de l'azote nitrique, également à Maison-Carrée, en 1927-28, en titre de première reconnaissance. Les échantillons ont été prélevés dans la vigne, sur une légère pente, à sol rouge (échantillon A); et dans la vigne, également, sur un endroit plat, à sol presque noir (échantillon B). Les analyses de ces échantillons ont montré la composition suivante :

Echantillon	Gravier	% DE TERRE FINE									
		ANALYSE PHYSIQUE						ANALYSE CHIMIQUE			
		Sable grossier		Sable fin		Argile et organ.	Humus	Az	P2 O5	K2 O env.	CaO
		siliceux	calcaire	siliceux	calcaire						
A	18	375	0	344	12.5	268.5	6.1	1.21	0.82	3	7.0
B	40	328	4.2	342	9	316.8	6.5	1.05	0.75	3	7.5

Nous avons indiqué, dans l'Introduction, les conditions météorologiques de l'année, qui a été particulièrement humide. Les dosages de l'azote nitrique effectués sur les échantillons prélevés dans les endroits sans mauvaises herbes (arrachées par nos soins) peuvent être considérés comme obtenus dans une jachère, parce que la vigne est, en hiver, à l'état de repos.

Les résultats de nos analyses, peu nombreuses, sont réunis dans le tableau 4 (v. page suivante) (voir aussi graphique 4).

Les résultats obtenus ne sont pas les mêmes que ceux de **POUGET** et **GIRAUD**, quoique l'allure générale des courbes est sensiblement pareille. Nous avons des valeurs plus grandes, malgré que nous ayons opéré sur 30 centimètres de profondeur seulement. L'écart entre les deux résultats peut s'expliquer par ce que la vigne désherbée doit avoir à peu près le même régime d'azote nitrique que la jachère; tandis que l'expérience de 1908 a été conduite sur des parcelles sans plantes également, mais non travaillées. Si, dans une jachère, la plus faible teneur en azote nitrique correspond à la fin de février et au début de mars, dans une terre tassée par les pluies et non travaillée, le minimum correspond aux mois de mars et avril.

Nos analyses permettent de constater que la jachère (= vigne désherbée), à Maison-Carrée, où les terres sont dépourvues de calcaire libre (aucune réaction au calcimètre), se montre cependant active

TABLEAU 4

Azote nitrique, dans la vigne désherbée, à Maison-Carrée, dans la couche de 0 à 30 cm. de profondeur, en 1927-28

DATES	TERRE	AZOTE NITRIQUE en milligr. par kilo de terre sèche	AZOTE NITRIQUE en kilos par hectare
19 Novembre.....	A	29.0	95.70
19 Janvier.....	A	4.2	13.86
24 Février.....	B	1.6	5.28
8 Mars.....	A	2.6	8.58
29 Mars.....	B	4.2	13.86
12 Mai.....	B	7.1	23.43
15 Juin.....	B	14.4	47.52

quant à la vie microbienne et capable d'accumuler, vers l'automne, une forte quantité d'azote nitrique. Les pluies d'hiver entraînent les nitrates dans le sous-sol. L'enrichissement en azote nitrique commence avec l'arrivée des chaleurs du printemps, qui réveillent l'activité des microbes. Nous avons trouvé plus de 45 kilogrammes d'azote nitrique, le 15 juin.

Les deux études ont été arrêtées à ce moment de l'année.

d. AZOTE NITRIQUE DANS LES TERRES DU SERVICE BOTANIQUE ET AGRONOMIQUE DE TUNISIE

Les terres du Service Botanique et Agronomique de Tunisie sont argilo-calcaires.

Nous avons choisi, pour l'étude du régime de l'azote nitrique, des endroits où elles sont profondes, sans croûte, avec une composition approximative de 30 % de calcaire et 25 % d'argile, donc suffisamment perméables et assez légères, de couleur brune, ayant une teneur en azote de 1 à 1,4 % et en acide phosphorique (P² O⁵) de 1,1 à 2,8 % ⁽¹⁾.

(1) Les résultats de nos travaux ont paru, au fur et à mesure de leur obtention, dans des notes différentes (L. Y., 1929 b, 1930 c, 1930 b), mais nous préférons les réunir tous dans cette note qui servira pour établir le total de nos connaissances sur la question de l'azote nitrique dans les terres du littoral de l'Afrique du Nord.

Le régime de l'azote nitrique a été étudié d'abord dans le champ réservé aux besoins du Laboratoire de Génétique, où l'assolement est biennal : jachère et blé. Les prélèvements intéressaient trois couches, de 30 centimètres de profondeur chacune. Au total, la couche étudiée est de 90 centimètres, dans les conditions de grande culture et sans addition d'aucun engrais chimique (1928-29). Les résultats de cette étude, déjà publiée (L. Y., 1930 a et 1930 c), sont réunis dans le tableau 5 ci-après. On remarquera quelques irrégularités dans les valeurs obtenues; nous avons eu l'occasion d'en parler longuement dans des notes précédentes (L. Y., 1929 b, page 34; 1930 c, p. 226-228); bornons-nous à dire que ces écarts sont dus un peu au chimiste, beaucoup plus à l'inégalité des sols, de leur préparation, de la répartition des mauvaises herbes; et aux accidents de toute nature qui peuvent diminuer ou augmenter la quantité d'azote nitrique, comme, par exemple, un léger abaissement du niveau ou un apport de matières nitrifiables quelconques. Ces irrégularités sont inévitables et n'empêchent d'ailleurs pas l'étude du phénomène qui nous intéresse.

Le graphique 5 permet de comprendre pourquoi l'assolement biennal jachère-blé a une si grande faveur en Tunisie. Il permet d'exécuter tous les travaux de ferme en temps opportun avec le minimum de main-d'œuvre et d'attelages (ou tracteurs); en même temps, il enrichit la terre et la rend capable de nourrir une forte récolte de blé. En prenant la moyenne de nombreuses analyses, nous pouvons affirmer que la quantité d'azote nitrique accumulée dans la couche de 90 centimètres par hectare est de 120 à 125 kilos.

L'azote nitrique s'accumule principalement dans la couche supérieure, qui, quoique plus sèche que les autres, est mieux aérée. Les couches inférieures accusent également un assez sensible accroissement (1).

Les pluies d'automne commencent à entraîner les nitrates du sol dans la profondeur. Sur le graphique, on les voit disparaître d'abord (en janvier) de la première couche, ensuite (en mars) de la deuxième et enfin (en avril) les trois couches ne contiennent, ensemble, qu'une dizaine de kilos d'azote nitrique. Le blé, qui se développe surtout en mars et avril, même si le semis a été fait en novembre, contribue

(1) Remarquons, en passant, que ce n'est pas un hasard de dosage, mais bien une réalité : la couche de 60 à 90 centimètres de profondeur se montre aussi active que la précédente; non seulement elle contient presque autant d'azote nitrique que celle de 30 à 60, mais souvent elle est plus riche en matières organiques que cette dernière. Il y a là un phénomène pédologique très curieux dû à la combinaison heureuse de la température et de l'humidité à cette profondeur. Cette couche fertile et profonde peut se trouver à une profondeur variable, et cette position variable rend les chiffres du tableau assez irréguliers,

TABLEAU 5

*Azote nitrique durant la jachère et la culture du blé,
au Service Botanique et Agronomique de Tunisie, en 1928-29*

DATES	EN MILLIGR. PAR KILO DE TERRE SÈCHE		EN KILOGRAMMES PAR HECTARE	
	JACHÈRE	BLÉ	JACHÈRE	BLÉ
13 Décembre	Couche 0.30 cm. 30.60 60.90	9.63 9.97 7.90	Couche 0.30 cm. 30.60 60.90 TOTAL 0.90	31.448 42.472 33.654 107.274
21 Janvier		1.06 7.33 13.86		3.500 31.453 58.758 93.411
19 Mars		1.36 1.45 2.80		4.485 6.463 11.900 22.548
8 Avril	1.31 1.98 1.89	0.65 1.03 1.44	4.320 8.415 8.033 20.768	2.145 4.378 6.420 12.643
1 ^{er} Mai		0.77 0.72 1.14		2.541 3.060 4.845 10.446
10 Mai	6.92 1.32 1.44		22.823 5.623 6.134 34.593	
4 Juin	7.30 2.61 3.55	1.53 0.59	31.098 11.119 15.423 57.340	5.049 2.513
24 Juillet	12.18 5.02 5.71	4.63 1.75 0.96	40.494 21.363 24.333 85.890	15.272 7.455 4.073 29.800
23 Septembre	25.47 6.07 4.23	3.66 1.53 1.13	84.060 25.860 18.000 127.920	12.080 6.520 4.814 23.414
15 Octobre	23.41 3.12 2.57		77.250 13.290 10.950 101.490	

également à cette disparition. Comme il est important de connaître exactement les disponibilités du sol en azote nitrique au mois d'avril surtout, nous sommes obligé de dire que le dosage des faibles quantités d'azote nitrique dans le sol fournit régulièrement des chiffres un peu forts : la solution colorée est un peu trouble, et l'augmentation de son opacité se traduit par une erreur dans la lecture colorimétrique. Nous avons pris des précautions plus grandes en 1929-30, et le graphique suivant indique, au mois d'avril, des teneurs plus faibles en azote, que l'on peut fixer à 2 kg. 250-3 kilos par hectare pour l'ensemble des trois couches étudiées.

En comparant l'accroissement de la teneur en azote nitrique dans la jachère à Maison-Carrée et à L'Ariana (graphiques 4 et 5), on constate que les premiers 30 centimètres de ces terres, très différentes et dans des conditions de pluviométrie inégales, ont une teneur assez comparable.

Ayant ces données concernant la jachère et le blé, nous avons entrepris (1929-30) l'étude des autres champs de l'assolement du Service Botanique et Agronomique, qui est : 1) jachère, 2) blé, 3) jachère, 4) blé, 5) vesce, 6) blé, ou orge, ou avoine. Les analyses sont en nombre relativement faible. Elles ont été présentées, avec les explications nécessaires, dans une note précédente (L. Y., 1930 c), en comparaison avec une terre inculte de même composition.

Cette étude a été faite sur des champs différents du Service et, à cause de cela, doit avoir moins de précision que l'étude antérieure. Mais elle donne cependant des indications qui paraissent logiques.

Les résultats obtenus sont représentés par le graphique 6, dont la partie supérieure correspond à l'assolement biennal déjà étudié (graphique 5) et auquel nous avons ajouté quelques résultats obtenus dans les champs de vesce et de blé (partie inférieure).

Pour ne pas répéter inutilement les chiffres du tableau 5, qui se rapportent aux quatre premières années de notre assolement de six ans, nous nous bornons à présenter, dans le tableau 6 ci-après, ceux qui se rapportent aux deux dernières années de l'assolement. Il est nécessaire de remarquer, cependant, que la partie de la courbe de la jachère travaillée, dès le mois de juin et au mois de février, sur ce graphique, est inférieure à celle du graphique 5; c'est parce que quelques analyses faites sur les échantillons prélevés dans les champs de culture ordinaire nous ont donné des résultats plus faibles que les précédents relatifs au champ de la station de génétique, qui est particulièrement bien travaillé.

En examinant le graphique, la première chose qui frappe, c'est l'énorme différence qui existe entre la teneur en azote nitrique dans

TABLEAU 6

*Azote nitrique dans les champs de vesce et de blé de l'Assolement
du Service Botanique et Agronomique, 1929-30*

EN MILLIGRAMMES PAR KILO DE TERRE SÈCHE					EN KILOS PAR HECTARE		
Date	Couche	Vesce	Blé	Inculté	Vesce	Blé	Inculté
21 Juillet	0.30	4.63	5.08		15.270	16.755	
	30.60	1.75	0.54		7.455	2.300	
	60.90	0.96	0.81		4.075	3.440	
					26.800	22.495	
23 Septembre	0.30	3.66		2.90	12.080		9.600
	30.60	1.53		1.03	6.520		4.400
	60.90	1.13		0.62	4.814		2.600
					23.414		16.600
15 Octobre	0.30		11.10			36.630	
	30.60		1.15			4.900	
	60.90		0.77			3.280	
						44.810	
4 Décembre	0.30		4.40	1.10		14.520	0.425
	30.60		1.56	0.40		4.645	1.705
	60.90			0.70			2.980
						26.5 env.	5.110
24 Mars	0.30	0.643	1.10	0.72	2.120	3.500	2.365
	30.60	Abs		0.27	abs		1.165
	60.90	Abs		0.46	abs		1.950
					3 k. env.	5 k. env.	5.480
26 Avril	0.30	0.86			2.830		1.920
	30.60	0.33			1.385		1.980
	60.90	0.36			1.535		1.230
					5.750		5.130
23 Mai	0.30			1.08			3.555
	30.60			0.55			2.325
	60.90			0.51			2.170
							8.050

la même terre suivant les travaux qu'elle a reçus. Ainsi, la jachère qui est marquée, sur le graphique 6, « jachère travaillée », reste le plus souvent en repos ou ne reçoit qu'un déchaumage jusqu'en novembre; c'est à partir de ce moment qu'elle devient vraiment travaillée; elle reçoit d'abord un labour profond, puis des façons superficielles plus ou moins nombreuses, suivant la pluviométrie de l'année. L'absence de travail se traduit par l'absence d'azote nitrique, et une préparation moyenne de la terre par les labours répétés fournit près de 120 kilos d'azote nitrique par hectare.

C'est également à la qualité du travail du sol que l'on doit attribuer les différences enregistrées entre la teneur du champ de vesce (5^e) et celui du blé (6^e place de l'assolement). La vesce est coupée au début d'avril; la terre est labourée immédiatement après la rentrée du fourrage, quand elle est encore relativement humide et se travaille convenablement. Tandis que le blé libère le champ tard (coupé le 1^{er} juin environ, rentré vers le 20 juin), la terre est sèche et se prête mal à une bonne préparation. Nous enregistrons près de 30 kilos d'azote nitrique par hectare après le blé (4^e) et près de 45 kilos après la vesce.

Désirant donner plus de précision à nos chiffres, nous avons continué l'étude de l'azote nitrique dans les champs 4^e, 5^e et 6^e de l'assolement. Nous avons obtenu, en été 1931, les résultats réunis dans le tableau 7 ci-après.

On constate, cette année, une teneur plus forte des champs en azote nitrique. Il y a deux causes de ces écarts que nous pouvons déceler. La première est imputable au déplacement des champs d'un terrain moins fertile sur un terrain de fertilité meilleure; nous avons obtenu ces résultats sur des terres dont la composition physique diffère peu, mais l'analyse chimique est :

ANALYSE DES TERRES

Az. NITRIQUE OBTENU APRÈS LA VESCE	Az	P 2 0 5	K 2 O	MgO
1929-30, 45 kilos.....	4.05	1.2	4.4	7.5
1930-31, 70 —	1.24	2.6	3.8	6.6
1930-31, 72 —	4.41	2.6	3.5	7.3

La deuxième cause est la meilleure préparation des terres, grâce à l'acquisition d'une charrue à disques et d'un tracteur. Les résultats des analyses sont supérieurs, en fonction de ces deux modifications.

Le contrôle de nos chiffres de 1930 par les analyses de 1931 indique que les chiffres peuvent varier avec la composition physique du sol, sa composition chimique et la préparation de la terre par les instruments aratoires.

TABLEAU 7

Azote nitrique dans les champs de l'assolement du Service Botanique et Agronomique de Tunisie. Dosages de 1931

EN MILLIGRAMMES PAR KILO DE TERRE SÈCHE				EN KILOGRAMMES PAR HECTARE		
Date	Couche	Avant la vesce	Après la vesce	Après le blé de fine sole	Après la vesce	Après le blé de fine sole
8 juillet	0-30	4.09	4.32	1.47	14.255	4.850
	30-60	2.50	4.46	1.73	49.000	7.370
	60-90	1.92	3.73	1.51	15.890	6.430
					49.145	18.650
17 septembre	0-30	5.17		4.81		5.975
	30-60	4.62		0.70		2.980
	60-90	1.76				12 k. env.
					31.460	
23 octobre	0-30	12.24	13.10		43.230	
	30-60	2.35	2.40		40.225	
	60-90	1.37	1.20		5.110	
					58.565	
25 novembre	0-30	14.38	15.00	3.00	49.500	9.900
	30-60	2.43	1.38	4.06	5.880	4.515
	60-90	3.37		0.88	70 k. env.	3.750
					72.160	48.165

Cependant, les chiffres obtenus renseignent suffisamment. En écartant les résultats de 1931 obtenus dans une terre trop riche, on peut se fier, sans erreur considérable, aux chiffres du tableau 6; et l'on peut considérer le graphique 6 comme répondant assez bien à une terre de fertilité moyenne.

Le travail du sol paraît maintenir la fertilité d'une terre donnée à un certain niveau. Si la jachère jouissait autrefois d'une grande (et méritée) réputation comme moyen de relever la fertilité, nous pensons que le remplacement du mot « jachère » par le mot « travail » ou « préparation du sol » soit possible, dans une certaine mesure au moins.

En effet, la théorie de dry-farming, si bien développée dans l'ouvrage universellement connu de WIDSTOE, attribue à la jachère le rôle principal de l'enrichissement de la terre en eau. C'est indiscutablement démontré. Mais l'humidité de la terre n'explique pas tout. Au Service Botanique et Agronomique de Tunisie, nous avons trouvé, le 23 septembre 1929 :

				HUMIDITÉ		TENEUR en AZOTE NITRIQUE en kg par hectare	
				Inculte	Jachère	Inculte	Jachère
Couche de	0 à 30 centimètres...			7.5	10.0	9.6	84.1
—	30 à 60 — ...			12.6	12.8	4.4	25.9
—	60 à 90 — ..			14.3	14.4	2.6	18.0
Total de	0 à 90 — ...					16.6	128.0

L'humidité est presque égale, mais la fertilité, dont on peut juger d'après la teneur en azote nitrique, est bien supérieure dans la jachère prête à recevoir le semis.

Si l'on compare l'humidité de la jachère à celle d'un champ ayant donné une récolte, on trouve régulièrement une certaine différence. A titre d'exemple, nous donnons ci-dessous les résultats de quelques déterminations faites, malheureusement, dans des terres non-identiques, quoique semblables, et en quantité insuffisante (v. tableau 8 ci-après).

La jachère conserve la plus grande humidité, mais, en comparaison avec les autres soles, nous trouvons, au mois de juillet, une différence plutôt faible; seul, le champ qui a donné le blé après la jachère a eu

TABLEAU 8

Humidité dans les différents champs du Service Botanique et Agronomique

		JACHÈRE	BLÉ	VESCE	BLÉ	INCULTE
1930	0-30...	44.2	12.4	8.8		14.1
26 avril	30-60...	14.0	14.2	11.8		16.0
	60-90...	16.2	15.2	13.1		16.7
23 mai	0-30...	13.2				10.2
	30-60...	13.5				12.2
	60-90...	14.6				13.5
21 juillet	0-30...	10.3		6.3		
	30-60...	12.3		11.2		
	60-90...	13.6		12.9		
1931	0-30...		4.9	5.3	6.0	
8 juillet	30-60...		5.5	10.8	11.1	
	60-90...		6.7		11.2	
17 septembre	0-30...		3.9	4.6	5.9	
	30-60...		7.0	8.8	11.9	
	60-90...		6.2	9.7		
23 octobre	0-30...		8.7	10.3		
	30-60...		7.6	9.6		
	60-90...		7.8	9.4		
25 novembre	0-30...		10.9	11.2	12.2	
	60-90...		8.4	8.9	11.1	
	60-90...		8.5		12.2	

une dépense d'eau tellement forte qu'elle reste nettement marquée jusqu'à l'automne.

Cependant, la faible humidité du sol ne cause pas l'arrêt complet de l'activité microbienne, puisque l'accumulation de l'azote nitrique persiste, pourvu que la terre soit bien labourée. On peut supposer que parfois, comme en été 1931, les jours trop chauds et les vents desséchants provoquent un certain ralentissement dans l'accumulation de l'azote nitrique, mais les vents humides, les pluies et les rosées d'automne donnent de nouveau la possibilité aux microbes de reprendre leur travail.

Il ressort de nos analyses que l'enrichissement des terres en azote nitrique pendant l'été dépend surtout du travail du sol. Nous employons ce terme des praticiens sans chercher d'explication plus exacte: en effet, nous ignorons la répercussion du travail du sol; agit-il uniquement sur l'aération? provoque-t-il une dessiccation des couches labourées tellement intense qu'un grand nombre d'habitants du sol sont détruits en laissant leur azote et leur acide phosphorique aux survivants et aux plantes? Probablement, les deux suppositions sont exactes. Pour le moment et pour cette partie de notre exposé, nous nous contenterons de donner raison à cet agriculteur qui, ayant une longue expérience du pays, a déclaré qu'il « fertilise la terre avec la poussière d'acier » (par le passage répété des instruments).

Pour finir ce chapitre sur le régime de l'azote nitrique dans nos terres, il convient de dire que ces résultats, résumés souvent dans des graphiques pour les rendre plus faciles à interpréter et à retenir, ont leur importance par eux-mêmes. Même si l'interprétation que nous en donnons plus loin, visant la possibilité de juger de l'opportunité de l'emploi des engrais azotés, était erronée, la connaissance des phénomènes du sol relatifs à l'azote assimilable serait néanmoins une acquisition scientifique.

e. AZOTE NITRIQUE DES TERRES D'ANGLETERRE ET DE FRANCE

En effet, un agronome nord-africain verra avec satisfaction que les quantités d'azote nitrique peuvent être modifiées par le travail du sol; qu'elles sont de beaucoup supérieures à celles que le climat différent de l'Angleterre détermine dans son sol. RUSSELL a publié les résultats des dosages de l'azote nitrique à Rothamsted, résultats que nous avons exprimés en mesures françaises: azote nitrique en kilos par hectare (au lieu de nitrate, en livres anglaises, par acre) (voir tableau 9 ci-après);

TABLEAU 9

*Azote nitrique dans une terre anglaise (RUSSELL)
en kilogrammes par hectare*

DATE	JACHÈRE	CULTURE	DATE	JACHÈRE	CULTURE
10 avril.....	16.04		6 août.....	26.37	
15 —	49.36		15 —	29.13	43.17
21 —	19.73	12.35	3 septembre...	29.69	
27 —	16.45		10 — ...	33.75	
13 mai.....	16.60	11.43	28 — ...	28.03	
18 —	18.44		6 octobre.....	28.03	
12 juin	18.44		10 novembre...	24.08	46.22
2 juillet.....	23.23	11.80	20 — ...	46.23	
13 —	24.71		17 décembre...	9.77	12.90
18 —	26.37		9 janvier	8.67	
27 —	24.34				

En Angleterre, la terre nue et inculte peut accuser la présence de 34 kilos d'azote nitrique par hectare (chiffre confirmé par un autre auteur (RONNA, 1900), tandis que la jachère tunisienne, dans une terre de fertilité moyenne et ne recevant pas d'engrais azotés, peut en accumuler facilement 120.

Quant aux sols français, qui devraient avoir des teneurs intermédiaires, nous trouvons chez DEHÉRAIN :

TABLEAU 10

*Azote nitrique, en kilos par hectare, dans quelques terres françaises
d'après DEHÉRAIN*

Terre de Grignon, parcelle épuisée.....	34.3
— — fumée	51.2
Wardrecques (Pas-de-Calais)	107.9
Blaringhem —	128.1
Marmilhat (Limagne d'Auvergne).....	62.6
Palbost —	45.2

La teneur est donc assez élevée, surtout celle des terres bien travaillées et fortement fumées du Pas-de-Calais. Malheureusement, nous manquons de précisions sur la place de ces terres dans l'assolement et sur d'autres détails.

II. Azote nitrique dans les eaux de drainage

a. INSTALLATION DU SERVICE BOTANIQUE ET AGRONOMIQUE POUR L'ÉTUDE DES EAUX DE DRAINAGE

Pour déterminer les pertes en azote nitrique par l'infiltration, il faut connaître la profondeur à laquelle les racines de blé pénètrent normalement dans un sol donné. Vu les difficultés que cette étude présente, il y a relativement peu de données sur cette question. Ces études ont été entreprises surtout dans les pays à pluviométrie assez grande, et les résultats obtenus sont assez discordants. C'est la preuve que les racines de blé peuvent pénétrer à des profondeurs différentes, suivant la nature du sol, son humidité, sa richesse, sa température; peut-être, également, suivant l'époque des semailles et même selon la capacité particulière de chaque variété de développer un système racinaire plus ou moins puissant.

Nous pouvons accepter, avec WIDSTOE, que les céréales peuvent avoir des racines de 2^m 40 de profondeur, voire 3 mètres exceptionnellement.

Au Service Botanique et Agronomique de Tunisie, les mesures exactes n'ont pas encore été faites. D'après une coupe de terre qui avait 1^m 60 de profondeur, nous pouvons conclure que le sol accessible aux racines a 1^m 50 de profondeur, à cet endroit; plus profondément, nous avons trouvé un sous-sol qui se distinguait nettement par la texture, la couleur ocreuse jaune indiquant l'absence à peu près complète de matières organiques, indice que les racines n'y pénétraient guère.

Ainsi, l'étude de l'infiltration et des pertes d'azote nitrique qu'elle entraîne devrait se faire, dans notre cas, dans des récipients de 1^m 50 de profondeur au moins. (Nous croyons que les bacs métalliques de 50^{cm} × 50^{cm} × 1^m 75 de profondeur, pouvant contenir près de 500 kilos de terre, seraient convenables, mais même cette dimension est déjà trop grande pour pouvoir réaliser convenablement des pesées; ainsi, il vaut mieux adopter des caisses immobiles en ciment armé de 2^m × 2^m × 1^m 75 à 2 mètres de profondeur.)

En attendant de pouvoir disposer des grandes cases de végétation qui viennent d'être construites, nous avons dû nous contenter d'une installation qui comprend une batterie de dix bacs en fer galvanisé de 1 mètre de profondeur et de 24^{cm} × 24^{cm} de section (la surface est de 1/17^e de m²), contenant un prisme de terre de 90^{cm} de haut. Ces bacs sont, par conséquent, moins profonds que notre terre, mais ils le sont plus qu'un grand nombre de terres des environs de Tunis, qui reposent sur une croûte calcaire à peu près imperméable.

Ces bacs ont été remplis en 1922; la terre peut être considérée comme bien rassise et ayant acquis sa densité normale.

Pendant les trois ans que durent nos expériences, ces bacs n'ont jamais reçu d'eau autre que celle des pluies naturelles. Le travail du sol se fait avec un couteau, sur la profondeur de 10-12 centimètres.

L'utilisation des bacs pendant les trois dernières années est résumée dans le tableau 11 ci-après.

En 1928-29, nous avons entrepris l'étude des engrais phosphatés et de l'azote. Les pertes de l'azote nitrique n'ont pas été mesurées. Cette étude a été présentée dans une de nos notes précédentes (L. Y., 1930 d).

En 1929-30, nous avons laissé les trois premiers numéros en jachère; le N° 1 a servi pour l'étude de l'infiltration de l'azote nitrique de la jachère continue; les N°s 2 et 3, pour celle de la jachère après le blé.

Le N° 6 a permis l'étude de l'infiltration par un bac ayant du blé après la jachère.

Le N° 5 portait un blé en deuxième paille sans engrais azoté.

Les N°s 4, 7 et 8, un blé en deuxième paille avec des doses croissantes de nitrate de soude; la dose simple comprend 0 gr. 600 de nitrate de soude le 20 février, 0 gr. 600 le 10 mars et 0 gr. 800 le 1^{er} avril; le N° 7 a reçu la dose double et le N° 8 a la dose triple d'engrais.

Les N°s 9 et 10 sont ensemencés tardivement et n'ont pas reçu d'azote. La dose simple de nitrate de soude apporte 330 mgr. d'azote nitrique par pot, quantité qui correspond à 56 kilos d'azote par hectare.

Les autres engrais ont été employés en quantités suivantes :

Superphosphate commercial, 9 gr. 375 par bac.

Sulfate de potasse commercial, 2 gr. 400 par bac.

Carbonate de magnésie léger, 0 gr. 600 par bac.

En 1930-31, les bacs ont reçu les engrais permettant l'étude :

N° 1 — Entraînement de l'azote nitrique par l'infiltration dans une jachère qui a reçu le nitrate de soude le 28 janvier (pour pouvoir se prononcer sur l'entraînement de l'azote nitrique par les pluies, il fallait laisser les bacs sans plantes).

N° 2 — Entraînement de l'azote nitrique par l'infiltration dans une jachère qui a reçu le sulfate d'ammoniaque aux semailles.

N° 3 — Même étude pour la jachère témoin, n'ayant pas reçu d'engrais azotés.

Les autres bacs ont servi pour étudier l'influence de l'époque d'application du sulfate d'ammoniaque sur le développement des plantes et leur rendement; le blé étant en deuxième ou en troisième pailles.

TABLEAU 11

Utilisation des bacs métalliques de 1 mètre de profondeur (Service Botanique et Agronomique de Tunisie)
1928-32

	1928-29					1929-30					1930-31					1931-32				
	ENGRAIS					ENGRAIS					ENGRAIS					ENGRAIS				
	Azote	Super	Scorie	Potasse	Plante	Azote	Super	Potasse	Magnésie	Plante semée le	Super	Potasse	Azote	Az. est mis le	Plante	Super	Potasse	Azote	Az. est mis le	Plante
1	0	0	0	0	Mahon No II 0	0	0	0	0	0	++	++	NS	28.1	0	++	++	++	4 nov.	Plante
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	++	++	SA	Semis	0	++	++	0	3 fév.	Plante
3	0	++	0	0	0	0	0	0	0	0	++	++	0		0	++	++	0	3 fév.	Plante
4	+	+	0	0	0	I	++	++	++	13 ^e Florence	++	++	0			++	++	+	4 nov.	Plante
5	0	0	0	0	0	0	++	++	++	1 ^{re} décembre	++	++	0		Ble tendre Mahon No II	++	++	+	3 fév.	Plante
6	0	0	0	0	0	0	++	++	++		++	++	SA	10. III		++	++	+	4 nov.	Plante
7	0	0	+	0	0	II	++	++	++	10 janvier	++	++	SA	20. II	Semis le 16 novembre	++	++	+	1 ^{re} nov.	Plante
8	0	0	+	+	0	III	++	++	++	Ble tendre	++	++	SA	3. II		0	0	0	1 ^{re} nov.	Plante
9	+	0	+	0	0	0	++	++	++		++	++	SA	3. I		0	0	0	1 ^{re} nov.	Plante
10	0	0	0	0	0	0	++	++	++		++	++	SA	Semis		0	0	0	1 ^{re} nov.	Plante

Les N^{os} 9 et 10 suivent le blé, qui a été semé tardivement l'année précédente et qui a eu un très mauvais développement.

Les engrais ont été donnés en quantités suivantes : superphosphate, 6 grammes par bac, correspondant à 1.000 kilos environ par hectare, chlorure de potassium pur, 2 gr. 500, correspondant à 425 kilos environ par hectare. Sulfate d'ammoniaque apportant 500 mgr. d'azote par bac, correspondant à 85 kilos d'azote à l'hectare. Les mêmes doses d'engrais ont été conservées l'année 1931-32, sauf le chlorure de potassium, incorporé en quantité de 1 gr. 5 par bac.

b. ORGANISATION DU TRAVAIL

La mensuration des pluies se fait par le Laboratoire de Météorologie du Service Botanique et Agronomique.

Quant aux eaux d'infiltration (ou de drainage), c'est notre Laboratoire qui s'occupait de leur mesure; à leur sortie par un orifice tubulaire, dans la paroi inférieure du bac, les eaux de drainage sont reçues dans un récipient en verre de 2 litres de contenance. Nous avons remarqué que les infiltrations s'arrêtent presque régulièrement deux jours après la dernière pluie. Pour diminuer le nombre d'analyses, nous cherchions à analyser à la fois toutes les infiltrations d'une période pluvieuse; c'est-à-dire, si les pluies tombaient trois jours de suite, nous mesurions l'infiltration au bout du cinquième jour. L'eau infiltrée est mesurée dans une éprouvette graduée, une certaine quantité est conservée pour les analyses, le reste est rejeté. Les verres sont remis en place, pour attendre la nouvelle période pluvieuse.

Naturellement, si les pluies étaient abondantes, la même période pluvieuse demandait deux ou plusieurs analyses, pour ne pas avoir des débordements des verres.

Il faut éviter de laisser séjourner l'eau dans les récipients, parce que les vers, les insectes, etc., viennent s'y noyer, et leur décomposition peut déterminer des erreurs.

Nous croyons avoir obtenu des chiffres auxquels on peut avoir confiance. Cependant, parfois, les oscillations entre les chiffres sont assez fortes. Il est difficile de pouvoir tout expliquer. Un limaçon ou un ver, mort dans la terre du bac, fournit déjà quelques milligrammes d'azote facile à nitrifier qui, rapportés à l'hectare, deviennent la source d'une erreur sensible. En augmentant les dimensions des bacs, on serait sans doute arrivé à rendre les chiffres plus corrects.

Une autre remarque concerne la pluviométrie, très mal répartie. Les pluies de déclenchent avec beaucoup d'intensité dans peu de jours; les récipients où l'eau de drainage se ramasse débordent pres-

que fatalement une ou deux fois par an, malgré tous les soins pour l'éviter; une fois, toute l'installation des bacs a été complètement inondée. Nous étions obligé, dans des cas pareils, de calculer la quantité d'eau qui devrait être infiltrée. La quantité calculée n'est pas une quantité mesurée, mais le calcul était soigneux et cette éventualité ne se produisait guère qu'une fois par an.

Le dosage de l'azote nitrique était effectué par la méthode décrite à la fin de cette note.

C. INFILTRATIONS ENREGISTRÉES

La répartition des infiltrations pendant les années 1929-30 et 1930-31 est indiquée dans le tableau 12 ci-après.

En 1929-30, l'infiltration commence dans tous les bacs presque simultanément, le 23 décembre, parce que, les 18, 19 et 20 décembre, on a eu plus de 40 millimètres de pluie. Le total des pluies tombées depuis le commencement de l'automne (du 1^{er} septembre) est de 140 millimètres. Nous pouvons indiquer ce chiffre comme une première approximation. En réalité, il n'est pas exact, parce que l'apparition de petites quantités d'eau en bas du bac ne prouve pas que l'eau a imbibé la terre complètement; plus la pluie est forte, surtout quand la terre est encore sèche, plus elle a tendance à passer par les fissures du sol (ou entre les parois du vase et le bloc sec de terre). Les chiffres que nous indiquons dans le tableau sont obtenus par le calcul : connaissant le total des pluies jusqu'au 5 février, quand la terre est régulièrement imbibée, nous en retranchons l'équivalent, en millimètres de pluies, des eaux recueillies en bas des bacs. Ces chiffres indiquent la quantité de pluies nécessaires pour l'imbibition complète de la terre, malgré les évaporations par la surface de terre.

Les résultats obtenus sont assez surprenants. Si, en 1929-30, nous ne trouvons guère de différence entre les bacs, l'année suivante cette différence est bien nette; en effet, en 1930-31, la moyenne des bacs n^{os} 1, 3, 5, 9 et 10 (des bacs maintenus en jachère ou ensemencés tardivement l'année précédente) diffère des n^{os} 4-8 de 58 millimètres de pluies environ; c'est une quantité appréciable parce qu'elle représente 14,35 % de la moyenne des pluies annuelles.

Cette différence enregistrée entre des années différentes est due principalement à ce que les premières infiltrations de 1930-31 ont eu lieu vers le 15 décembre, quand l'humidité de l'atmosphère n'a pas eu le temps d'agir dans la même mesure que l'année précédente, avec un commencement tardif de l'infiltration régulière (le 3 février).

TABLEAU 12

Quantité d'eau de pluie, en centimètres cubes, infiltrée à travers la couche de terre de 90 cm.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1929-30 :										
Du 23 décembre au 4 février...	0	316	10	148	658	519	316	0	437	236
— 3 — 8 — (1)...	3.625	2.719	3.668	2.561	2.439	3.695	3.695	2.582	3.718	3.612
— 14 — 21 —	1.275	4.330	1.244	515	481	777	777	668	4.463	1.605
Au courant de mars...	4.951	2.328	1.375	10	156	47	47	21	932	893
— d avril...	2.366	2.601	2.257	0	150	0	0	0	1.203	1.154
TOTAL.....	9.217	9.294	8.554	3.234	3.904	4.835	4.835	3.271	7.753	7.530
Moyenne.....	3.860									
Infiltration correspondant aux mm. de pluies.....	9.020									
Pluie nécessaire pour imbibier complètement la couche de 90 cm...	201	453	498	55	66	69	82	55.5	130	130
1930-31 :										
Les 24 et 26 octobre...	2.475	2.425	2.410	0	895	0	0	0	2.520	2.380
Les 4 nov. et 10 déc...	1.295	4.447	4.347	310	1.272	342	715	0	1.890	1.380
Les 18 et 31 déc. (2)...	3.035	3.345	3.235	3.025	3.102	3.100	3.060	1.245	3.315	3.570
Les 23 et 28 janvier...	2.499	2.232	2.195	1.680	2.002	4.667	1.708	4.383	2.014	25
Au courant du février...	5.565	5.793	5.692	4.110	4.930	4.363	4.072	3.250	2.860	2.040
Le 23 mars.....	395	540	425							
Le 21 mars.....	100	482	60							
TOTAL.....	14.764	15.964	15.364	9.155	12.201	9.672	9.585	5.828	12.509	8.395
Moyenne.....	15.364									
Infiltration correspondant aux mm. de pluie.....	260.5									
Pluie nécessaire pour imbibier complètement 90 cm. de terre...	137	126	429	155	207	160	162	99 (?)	213	142
				190	160	186	206 (?)		121	137

(1) Dérèglement de tous les récépents. (Chiffres calculés. — (2) L'inondation du 18 décembre 1930 nous a obligé à recourir au calcul.

On peut envisager aussi comme cause l'inégalité des pluies d'été :

	<u>Jn</u>	<u>Jt</u>	<u>A</u>	<u>S</u>	<u>O</u>	<u>N</u>	<u>D</u>
En 1929.....	16	1	0	24	22	50	56
En 1930.....	10	14	0	63	82	27	105

La pluie de 14 millimètres en juillet a pu contribuer à retarder le dessèchement du sol, empêchant la formation des fentes par lesquelles le vent pouvait niveller toute différence d'humidité.

Le tableau 12 montre qu'il a fallu, après la culture de blé, 180-200 millimètres de pluie pour imbiber 90 centimètres de terre.

A partir du moment où la terre est régulièrement imbibée d'eau, chaque nouvelle pluie détermine une nouvelle infiltration, en février et mars. Depuis le mois d'avril, les bacs avec plantes ne laissent plus passer l'eau de pluie; elle est utilisée entièrement pour les besoins de la récolte.

L'importance des infiltrations sera étudiée plus bas, à propos des pertes d'azote nitrique par l'infiltration, dans le § f de ce chapitre.

d. CONCENTRATION DES EAUX DE DRAINAGE EN AZOTE NITRIQUE

Dès que les premières gouttes d'eau d'infiltration apparaissent, l'entraînement de l'azote nitrique et de quantités très faibles d'azote ammoniacal commencent. L'azote ammoniacal est en si faible proportion (moins de 1 %) par rapport à l'azote nitrique, que nous pouvons le négliger pour le moment.

Les premières infiltrations sont pauvres en azote nitrique, en 1929-30, même dans les bacs après la jachère (tableau 13 ci-après, bacs N^{os} 1, 4, 5, 6 et 10).

Mais la concentration augmente rapidement, pour atteindre son maximum dès que l'eau écoulée correspond à 15-40 millimètres de pluie. Elle devient alors considérable et égale à 160 mgr. d'azote nitrique par litre après une jachère; elle est également importante dans les terres ayant donné une récolte, parce que nous y trouvons une teneur variant entre 48 et 135 mgr., en moyenne 90 mgr., au moment du passage par le maximum.

La teneur maximum en azote nitrique des eaux d'infiltration correspond aux nitrates de la couche supérieure des bacs. Pendant la descente des nitrates, une certaine diffusion a lieu, mais elle n'est pas importante, comme l'indique la concentration des eaux recueillies, qui diminue assez brusquement dans la plupart des bacs.

Au printemps, les bacs laissés en jachère continuent à conserver

TABLEAU 13

Concentration des eaux de drainage en azote nitrrique, en mgr. par litre (1929-30)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
23 décembre 1929...				1.61	2.31					0.42
14 janvier 1930.....										
1 février.....	1.29						48.00			70.50
3 —	51.39	51.00	45.90	39.00	0.30	90.00	17.10	34.20	57.00	42.00
5 —	224.00	160.00	86.00	108.00	60.00	163.30	22.32	67.30	135.00	37.00
7 —	192.00	126.00	84.00		48.00	156.00	42.00	54.48	103.68	68.04
8 —	65.25	26.25	26.94	8.05	7.90	28.88	1.14	10.20	35.03	26.25
14 —	54.00	27.03	27.60	4.44	10.35	9.75	abs	3.38	32.00	29.40
21 —	50.10	21.90	22.50	0.27	0.15	0.32	0.15	0.11	22.25	15.90
19 mars.....	33.33	15.31	17.14	0.15	0.08	0.46	0.08	0.05	11.10	8.00
26 —	16.26	8.72	10.77		abs					
15 avril.....	9.71	11.60	11.07		0.09	0.08			0.16	0.27

une certaine teneur en azote nitrique, tandis que les bacs avec plantes, où les racines arrivent à la sortie vers le 1^{er} février, s'appauvrissent vite; les eaux n'en contiennent plus vers le 20 février : la couche étudiée a épuisé son stock; les plantes doivent chercher alors leur nourriture azotée plus profondément, ce que le sol peut libérer par la mobilisation de ses réserves azotées n'étant pas bien important, et les eaux météoriques en étant également pauvres.

Les résultats d'analyses de l'année 1930-31 sont réunis dans le tableau 14 ci-après.

La concentration des eaux d'infiltration a une autre allure que l'année précédente. Les pluies du 21 et du 24 octobre, chaque fois de 25 millimètres, ont été trop brusques pour provoquer le déplacement régulier des nitrates; l'eau s'engageait dans les fentes de la terre et dans l'espace entre le bloc de terre et les parois des bacs, entraînant la partie des nitrates qui était la plus proche de son parcours. Ainsi, les premières portions recueillies contiennent relativement beaucoup d'azote nitrique; par contre, la concentration maximum est diminuée; elle est de 75 mgr. d'azote nitrique par litre après la jachère et de 50 mgr. environ après le blé.

Connaissant la teneur de la terre en azote nitrique et en humidité, on peut calculer la concentration en azote nitrique pendant les périodes sans infiltrations; par exemple, dans la jachère où nous avons trouvé, dans la couche supérieure, de 0 à 30 centimètres, près de 80 kilos d'azote nitrique par hectare, cette concentration est, si nous prenons humidité égale à 10 %, de

$$\frac{330 \text{ t. d'eau}}{80 \text{ kg. d'azote}} = 240 \text{ mgr. d'azote nitrique par litre (au mois de septembre).}$$

Après avoir passé par le maximum, la concentration des eaux de drainage diminue assez rapidement et devient, le 7 février, égale à 4 mgr. d'azote nitrique par litre dans la jachère. Dans les bacs avec blé, nous constatons l'absence de nitrates déjà le 28 janvier.

En examinant la concentration des eaux d'infiltration en azote nitrique, nous rencontrons un phénomène assez inattendu : les différences des concentrations après la jachère et après le blé existent, comme nous l'avons vu, mais elles sont plus faibles que l'on pouvait penser *a priori*. La pluie, si elle est modérée et prolongée, agit comme un piston chassant devant lui les solutions du sol. SCHLOESING l'a démontré. Et comme le sol d'un bac qui a donné une récolte de blé est non seulement plus pauvre en azote nitrique, mais l'est également en eau, cette faible quantité d'eau du sol se trouve relativement chargée en azote nitrique.

Quant à l'entraînement des engrais azotés dans les couches profondes

TABLEAU 11

Concentration des eaux de drainage en azote nitrique, en milligrammes par litre

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
24 octobre 1930.....	46.00	45.20	41.20	—	—	—	—	—	32.80	28.40
26 —	46.80	52.60	54.60	—	(cassé)	—	—	—	36.40	28.90
4 novembre.....	60.00	61.20	54.80	43.60	34.40	34.40	89.80	—	46.20	36.60
10 décembre.....	85.60	68.80	68.00	47.20	26.80	23.08	54.64	—	54.40	43.20
18 —	50.48	45.74	38.52	29.00	21.20	18.60	42.84	49.88	33.12	45.46
31 —	15.42	13.08	4.68	3.50	7.35	perdu	4.56	43.13	7.00	11.52
23 janvier 1931.....	6.48	7.42	5.53	0.42	3.75	0.30	0.50	0.65	0.71	abs.
28 —	5.15	5.50	4.09	0.13	1.46	tr.	0.07	0.06	0.19	abs.
7 février.....	3.64	4.65	3.35	0.06	0.35	tr.	0.06	tr.	0.08	abs.
14 —	3.95	6.00	4.08	f. tr.	f. tr.	abs.	abs.	abs.	abs.	traces
16 —	3.09	8.80	3.53							
21 —	8.00	75.20	15.00							
23 mars.....	7.37	56.60	6.72							
22 mai.....	34.17	100.75	20.94							

des, le sulfate d'ammoniaque appliqué aux semailles arrive à la profondeur de 90 centimètres le 21 février et continue à enrichir les eaux d'infiltration en azote nitrique jusqu'en mai. Le nitrate de soude, appliqué le 28 janvier, n'apparaît dans les eaux d'infiltration que le 22 mai, dans les conditions des pluies de l'année; il a demandé 170 millimètres de pluie pour diffuser dans la couche étudiée.

La quantité absolue d'azote de l'engrais qui a franchi la couche de 90 centimètres peut être évaluée par comparaison. Quoique le témoin (N° 3) se montre toujours inférieur aux autres, même avant que les engrais commencent à agir, la différence s'efface au printemps, et la comparaison devient possible. Nous trouvons que le sulfate d'ammoniaque a laissé infiltrer 105 mgr. d'azote, environ 20 % de la quantité employée pour l'expérience; et le nitrate de soude a pu à peine manifester son apparition.

Ainsi, au point de vue des pertes d'azote nitrique des engrais par l'infiltration, les époques choisies se montrent comme bien adaptées à notre terre et à notre pluviométrie; le nitrate pouvait même sans inconvénient être appliqué plus tôt, vers le 10 janvier. Mais à part la question des pertes par l'infiltration, les engrais azotés n'ont pas la même action sur la physiologie du blé, si la date de l'application est modifiée. Nous allons développer ce point de vue plus loin, à propos de nos expériences sur l'application des engrais azotés en couverture, au printemps.

e. QUANTITÉ D'AZOTE NITRIQUE AYANT TRAVERSÉ LA COUCHE DE TERRE DE 90 CENTIMÈTRES

Nous avons calculé, pour chaque mesure d'infiltration, la quantité d'azote nitrique qu'elle contenait; ces quantités sont présentées dans les tableaux 15 et 16 ci-après.

L'examen des dernières lignes des tableaux permet de se rendre compte que la jachère est capable de fournir au sous-sol des quantités d'azote nitrique beaucoup plus importantes que les terres soumises au régime de la culture continue. Pour rendre l'examen plus concret, nous allons interpréter les résultats rapportés à l'hectare.

La *jachère* (bacs N°s 1, 2 et 3) a fourni, pendant les deux années de l'étude, des résultats assez concordants, sauf le N° 1 qui, en 1929-30, a donné un résultat trop élevé; nous l'écartons, en y supposant une cause accidentelle. La moyenne des entraînements est de 63 kg. 200 d'azote nitrique par hectare. Ce résultat est inférieur, même très inférieur, à ce que nous avons trouvé dans les jachères en pleine terre, bien qu'il soit légèrement augmenté par le sulfate d'ammoniaque du N° 2 en 1930-31.

TABLEAU 15

Azote nitrique enlevé par l'infiltration de la couche de 0 m 90 de terre (en milligrammes par bac) 1929-30

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
23 décembre 1929.....				0.113		0.848				0.034
14 janvier				0.000			6.381			
1 février.....				0.400			7.960			11.492
3 —	52.410	11.271	47.606	5.772	0.020	17.100	17.870	4.856	50.559	42.546
5 —	119.616	74.400	44.118	41.904	24.000	58.778	42.008	27.593	83.210	20.646
7 —	288.000	489.000	126.000	140.000	72.000	234.000	18.000	81.720	455.520	102.000
8 —	150.597	55.965	66.820	46.915	15.557	60.060	2.794	21.624	95.968	59.955
14 —	22.464	41.350	10.598	0.422	1.894	2.360		0.975	48.336	10.526
21 —	43.492	19.929	19.350	0.113	0.045	0.024	0.013	1.279	28.480	35.398
19 mars	6.900	5.297	2.656	0.062	0.012	0.012	0.004	0.001	2.442	0.552
26 —	10.276	8.650	4.846							
31 —	16.235	9.964	8.316						11.784	9.888
9 avril.....	12.046	42.158	10.670							
15 —	12.309	14.475	13.195		0.013	0.017			0.197	0.308
TOTAL en milligrammes. ...	633.745	412.159	354.175	205.341	143.544	343.229	65.060	138.048	446.496	293.342
En kilos par hectare.	107.732	70.067	60.210	34.908	49.302	63.449	11.060	23.468	75.904	49.868

TABEAU 16

Azote nitrique enlevé par l'infiltration de la couche de 0^m 90 de terre (en milligrammes par bac) 1930-31

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
24 octobre 1930.....	61.410	68.930	65.302						50.512	45.456
26 —	39.312	47.346	42.570		31.000				35.672	22.831
4 novembre.....	55.500	55.692	49.888	2.616	27.761	4.059	16.464		51.054	31.476
10 décembre.....	31.672	36.946	29.716	11.800	12.462	10.634	30.872	18.456	39.168	22.464
18 —	116.753	112.158	97.788	68.375	45.200	42.300	83.012	41.489	76.383	73.986
31 —	16.178	44.977	5.171	3.675	8.400	5.000	5.746	0.357	9.319	40.483
23 janvier 1931.....	10.057	44.107	8.710	0.465	5.062	0.335	0.471	0.029	0.805	
28 —	3.332	3.696	2.534	0.076	0.949		0.054		0.168	
7 février.....	5.870	8.361	5.678	0.063	0.539		0.050		0.051	
14 —	5.333	8.070	5.251							
16 —	5.176	15.708	6.397							
21 —	7.200	64.898	13.500							
23 mars.....	2.913	30.564	2.858							
22 mai.....	3.447	18.336	1.256							
Total par bac....	364.123	496.783	336.599	85.070	131.073	62.328	136.369	30.551	266.123	206.396
Rapporté à l'hectare.	61.900	66.640	57.220	14.462	22.282	10.596	23.183	5.190	45.241	35.087

Le blé après la jachère (N° 6 de 1929-30) a laissé 63 kg. 500 d'azote nitrique s'infiltrer dans les couches profondes; même les semailles du 1^{er} décembre peuvent être considérées comme trop tardives; la totalité d'azote nitrique s'est infiltrée, au risque d'être perdue, comme nous allons le démontrer.

Le blé en deuxième paille sans engrais azotés laisse passer :

1929-30, N° 5.....	19 kg. 302	} moyenne 16 kg. 882.
1930-31, N° 4.....	14 kg. 462	

Les doses croissantes de nitrates de soude essayées en 1929-30 n'ont pas pu augmenter les pertes d'azote, parce que les applications ont été très tardives, quand toute infiltration s'arrêtait.

L'expérience de 1930-31, sur l'application du sulfate d'ammoniaque à des époques différentes, n'a pas augmenté les pertes par infiltration, car la teneur en azote nitrique des eaux recueillies n'a pas augmenté. L'application précoce de l'engrais azoté provoque, au contraire, la diminution de l'infiltration : elle détermine un développement rapide des feuilles et des racines; l'évaporation devient considérable; d'autre part, les racines, plus abondantes, absorbent plus complètement l'azote existant dans le sol.

Les pertes des bacs qui ont reçu les engrais azotés ont été, en azote nitrique par hectare :

1929-30	{ N° 4.....	34,908	} moyenne 23 kg. 145.
	{ N° 7.....	11,060	
	{ N° 8.....	23,468	
1930-31	{ N° 6.....	10,596	} moyenne 12 kg. 990.
	{ N° 7.....	23,183	
	{ N° 8.....	5,190	

On peut attribuer la différence entre les moyennes au changement de l'époque des semailles, indiquée déjà dans le tableau 8 : en 1929-30, nous avons semé le Florence le 1^{er} décembre, tandis qu'en 1930-31, le Mahon a été semé le 16 novembre.

Les bacs N°s 9 et 10 ont été réservés en 1929-30 pour l'étude des semailles tardives. Non seulement la quantité d'eau infiltrée a été plus grande que chez les bacs ensemencés normalement, — ce qui indique que le développement des plantes se faisait mal, — mais encore la quantité d'azote nitrique perdue par chacun de ces bacs est presque aussi grande que celle de la jachère après le blé, N°s 2 et 3. Les semailles tardives placent la plante dans des conditions impropres à l'utilisation rationnelle de la fertilité du sol, et c'est très important à connaître, parce que les rendements dépendent, dans nos terres

de la région tempérée-chaude, beaucoup plus de l'époque des semailles que des engrais, et seul le travail de la terre peut avoir une importance non moins grande. Nous avons eu l'occasion de montrer que les semailles tardives donnent de faibles rendements (voir graphique 7) (L. Y., 1929 b, 1930 a).

Quelle est la cause exacte de cette diminution ? Le raccourcissement de la durée de végétation ne pourrait pas provoquer par lui-même des diminutions aussi fortes. La véritable cause réside dans l'abaissement marqué de la température du sol, qui ralentit le développement des racines et des feuilles du blé; les pluies d'hiver entraînent l'azote dans les couches profondes, l'alimentation azotée devient défectueuse. Ainsi, l'action de ces deux causes s'ajoute pour diminuer le rendement dans le cas des semailles tardives.

Il est à savoir que le bon rendement est assuré avec les semailles aussi précoces que l'aptitude particulière de chaque blé le permet. En effet, il y a certains blés, ayant beaucoup de qualités, mais qui épiant très tôt au printemps; les semailles trop précoces de ces variétés peuvent déterminer l'épiaison même en janvier, quand la floraison ne peut pas se faire dans de bonnes conditions, à cause des gelées et des pluies.

f. EST-IL A CRAINDRE QUE L'AZOTE NITRIQUE DE LA TERRE PUISSE ÊTRE PERDU PAR L'INFILTRATION ?

Ecartant pour le moment la question de la dénitrification (que nous allons développer plus loin), nous considérerons l'azote nitrique comme perdu s'il est arrivé à s'infiltrer dans les couches plus profondes que 175 centimètres; comme nous l'avons vu, nous avons une raison de penser que, dans notre terre, les racines ne pénètrent pas plus profondément.

En admettant que l'humidité du sous-sol profond (90 centimètres) après la jachère est de 14 % et celle d'un champ de blé de 10 %, il faut 5 % d'humidité pour le premier et 9 % pour le deuxième pour qu'ils arrivent à l'humidité limite de 19 %, que nous avons trouvée comme correspondant à l'imbibition complète de notre terre en place (pouvoir maximum de rétention de l'eau). Nous avons admis que la densité du sous-sol sec est égale à 1,42. Si la terre ne change pas de volume en augmentant son taux d'humidité, nous pouvons énoncer qu'après la jachère (qui a 14 % d'humidité), 1 millimètre de pluie sature 1 centimètre de profondeur de sous-sol; et qu'après un blé, 1 centimètre de profondeur de sous-sol demandera 1^{mm} 75 de pluie.

En 1929-30, la jachère pouvait imbiber son sous-sol jusqu'à la profondeur de $90 + 153 = 243$ centimètres; dans ces conditions, les nitrates

peuvent être considérés comme perdus, en plus grande partie. Les autres bacs, avec le blé, qui ont laissé passer 65 millimètres de pluie en moyenne, pourraient assurer l'imbibition de $65 : 1,75 = 37$ centimètres de sous-sol, et au total $90 + 37 = 127$ centimètres. Dans ces conditions, la culture continue des céréales devient peu sûre, et il faut employer des engrais avec beaucoup de prudence. Cependant, les bacs contenant 90 centimètres de terre seulement fournissent une récolte qui, rapportée à l'hectare, est d'un rendement normal, quoique les plantes souffrent visiblement du manque d'eau au printemps.

En 1930-31, les pluies ont été plus importantes (505^{mm}). L'infiltration dans les bacs N^{os} 1, 2 et 3 (jachère continue) a été de 260^{mm} 5 de pluie assurant l'imbibition de $90 + 260 = 350$ centimètres de terre. L'infiltration moyenne des autres bacs (culture de blé continue) est de 163^{mm} de pluie pouvant imbibier $163 : 1,75 = 93$ centimètres de sous-sol, et au total $90 + 93 = 183$ centimètres de terre. Les nitrates naturels ne sont pas perdus, dans ces conditions, pour la culture continue, et la récolte serait assurée remarquablement bien en eau et en azote. Ce sont là des conditions exceptionnelles d'une année particulièrement pluvieuse qui nous enseignent, cependant, que dans une région à pluviométrie moyenne de 500^{mm}, à terre profonde et de bonne constitution, la culture continue du blé trouverait des conditions idéales pour l'utilisation des eaux pluviales et de l'azote assimilable du sol.

Si l'on veut assurer des rendements convenables dans une région à 400^{mm} de pluie, la conservation de la jachère, une année sur trois ou quatre, paraît raisonnable; en contribuant à un bon nettoyage du sol, elle permet la reconstitution de l'humidité des couches profondes. Dans les cas d'une pluviométrie insuffisante ou mal répartie, cette réserve d'eau dans le sous-sol peut rendre des services.

Par le mot nettoyage nous voulons non seulement dire « nettoyage des mauvaises herbes », mais aussi « nettoyage chimique » : permettre à l'eau de pluie de laver le sol, de le débarrasser de l'excès de sels inutiles qui pourraient s'y accumuler en quantité exagérée (chlorures, sulfates).

L'étude de M. Henri SOULMAGNON sur les chlorures apportés au sol par l'atmosphère établit que la quantité de chlorure de sodium apporté par hectare et par an est de 95 kilos; or, dans les terres du Service Botanique et Agronomique, nous ne trouvons que des traces de chlorures. Il faut admettre que les infiltrations existent et sont suffisamment fortes pour provoquer leur départ. Ainsi, nous avons une preuve indirecte que les nitrates du sol doivent être également perdus par l'infiltration dans les couches profondes, sous la pluviométrie de 400^{mm}. Cependant, on ne doit pas généraliser cette remarque, parce que le régime des pluies n'a pas agi un temps assez long

sur l'assolement du Service Botanique pour que la résultante puisse s'établir.

En résumant, on doit énoncer que chaque fois que l'on pratique la jachère on a une perte de nitrates par infiltration.

g. FERTILITÉ, PLUVIOMÉTRIE ET PERMÉABILITÉ DU SOL
EN RAPPORT AVEC L'ASSOLEMENT

En établissant un assolement, on doit tenir compte d'une foule de conditions (économiques et naturelles), parmi lesquelles se placent surtout la *pluviométrie* de la région, la *perméabilité* et la *fertilité* de la terre.

Pour apprécier la valeur agricole d'une terre relativement à sa fertilité et particulièrement à sa richesse en azote assimilable, il faut connaître sa capacité d'accumulation de l'azote nitrique par le fait des labours et des façons. Si la terre du Service Botanique et Agronomique de Tunisie peut en avoir jusqu'à 45-50 kilos par hectare et même 70 dans quelques parcelles particulièrement bien constituées, en culture continue, les autres terres de Tunisie peuvent avoir un « coefficient azoté » plus fort ou plus faible, qu'il est utile de connaître.

Pour déterminer la capacité d'une terre donnée de porter des récoltes successives, il faut disposer de plusieurs éléments d'appréciation. Quelle est la pluviométrie moyenne annuelle ? Comment les pluies se répartissent-elles ? Quelle est la constance de la moyenne annuelle et des moyennes mensuelles ? On peut trouver des réponses dans les ouvrages de G. GINESTOUS sur la météorologie tunisienne.

Ensuite, viennent d'autres éléments : la composition physique de la terre qui permet de juger de sa perméabilité et de sa capacité de retenir plus ou moins d'eau. Plus une terre est perméable, — nous écartons les sables des dunes, — plus la culture continue devient possible.

Enfin, la profondeur de la terre a une importance de premier ordre; une très grande surface de Tunisie présente des croûtes calcaires (tuf) sous lesquelles se trouve un sous-sol de nature variable. Cette croûte est souvent presque imperméable et limite la productivité. L'étude des croûtes et les essais de leur destruction par un moyen mécanique ou par les explosifs est d'une grande importance. A. PIEDALLU cite plusieurs exemples d'une très grande augmentation de la productivité des terres qui ont été défoncées par les explosifs; en effet, deux raisons expliquent les avantages de cette pratique : 1) les plantes ont plus d'eau à la disposition des racines; 2) l'air que l'on introduit dans le sol n'est, pour ainsi dire, jamais en trop.

Si le sol est profond et si les pluies arrivent à le saturer sur toute sa profondeur, il n'y a pas de raison de penser que la culture continue ne soit pas possible. Peut-être, dans quelques terres, même bien travaillées, la fertilité se montrera insuffisante pour maintenir les rendements élevés, mais l'agriculteur d'aujourd'hui a suffisamment d'engrais à sa disposition pour aider sa terre à produire.

h. CONCENTRATION EN AZOTE NITRIQUE DES EAUX DE DRAINAGE EN ANGLETERRE ET EN FRANCE

Comme dans le chapitre précédent, nous allons comparer les résultats obtenus sur une terre de Tunisie avec ceux d'autres expérimentateurs dans les pays à climat différent.

La Station de Rothamsted, qui a beaucoup étudié la question de l'azote nitrique des terres, possède des analyses de très nombreuses années, démontrant l'importance que l'on attribue à cette connaissance et une remarquable persévérance dans la réalisation de ses projets.

Les eaux de drainage d'une parcelle nue et sans engrais ont eu la teneur moyenne (de 1877-78 à 1896-87) suivante :

*Azote nitrique dans les eaux de drainage
des caisses de 1 m. 01 de profondeur, en milligrammss par litre (Rothamsted)*

	Mgr.		Mgr.		Mgr.
			—		—
Septembre	11.73	Janvier	6.68	Mai	7.25
Octobre	10.57	Février	6.53	Juin	7.62
Novembre	10.48	Mars	6.45	Juillet	9.00
Décembre	8.26	Avril	7.07	Août	9.82

Nous ne pouvons pas juxtaposer ces résultats aux nôtres par la simple raison que nous n'avons pas opéré avec la terre nue et inculte, mais bien avec la jachère travaillée ou le blé.

Les analyses de FRANKLAND (1866-68) et VOELCKER (1872-73), faites également à Rothamsted, sur les eaux de drainage d'un champ en culture continue de blé sans engrais, ont donné, en azote nitrique par litre :

		Mgr.
FRANKLAND, moyenne des 6 déterminations.....		3.16
VOELCKER, — des 5 —		3.90
Moyenne des 11 —		3.53

Nous avons vu que la culture continue du blé dans notre terre

abaisse la concentration des eaux de drainage en azote nitrique (si l'on fait la comparaison avec la jachère); mais seulement pour la ramener à 81 mgr. 5 en 1929-30 et à 51 mgr. en 1930-31 au moment du passage par le maximum.

Nous pouvons donc énoncer que la concentration en azote nitrique, des eaux de drainage, dans notre champ de blé, est beaucoup supérieure à celle constatée en Angleterre et que les variations de la teneur sont plus grandes dans les deux sens.

Quant aux pertes (quantitatives) de l'azote nitrique par l'infiltration dans les couches profondes à la Station de Rothamsted, il résulte des dosages d'azote pratiqués pendant vingt années consécutives sur les eaux de drainage, recueillies dans le sol *nu et inculte* de Rothamsted, aux profondeurs de 0^m 50, 1^m 01 et 1^m 52, que l'azote nitrique correspond en moyenne à 45 kilos par hectare et par an. Sur cette quantité, 5 à 11 kilos proviennent de l'azote à l'état combiné existant dans les eaux de pluie et les eaux atmosphériques que le sol condense, et 34 à 40 kilos sont dus à la nitrification des matières azotées contenues dans le sol nu, sans engrais (RONNA, p. 501). La perte moyenne mensuelle a été :

*Perte d'azote nitrique, en kilogrammes par hectare,
par les eaux de drainage des caisses de 1 m. 01 de profondeur ;
terre nue, sans engrais, Rothamsted : 1877-97*

	Kgr.		Kgr.		Kgr.
Septembre.....	3.05	Janvier.....	3.14	Mai.....	1.16
Octobre.....	5.60	Février.....	2.81	Juin.....	1.22
Novembre.....	6.33	Mars.....	1.87	Juillet.....	1.71
Décembre.....	4.38	Avril.....	1.06	Août.....	2.16

TOTAL de l'année moyenne : 34 kgr. 55

L'étude correspondante n'a pas été faite au Service Botanique et Agronomique, parce que la jachère qui était l'objet de notre attention mobilise plus d'azote que la terre nue inculte.

En France, des études aussi régulières que celles de Rothamsted n'ont jamais été faites.

BERTHELOT a trouvé, en plaçant dans un vase de porcelaine 45 kilos de terre, la quantité d'azote nitrique qui correspond à 382 kilos d'azote nitrique à l'hectare. Ce résultat trop élevé est déterminé par la division extrême de la terre, qui n'a pas eu le temps de prendre la consistance d'une terre normale.

DEHÉRAIN, à Grignon, a fait également quelques déterminations semblables, en opérant sur 30 kilos de terre de champs différents.

Ses résultats méritent le même reproche, d'avoir été obtenus avec une terre trop ameublie; ils sont reproduits ci-dessous :

Eté	Octobre				Hiver		Print.	Tot.
	Juin à Octobre	du 2 au 9	du 9 au 16	du 16 au 22	du 22 au 7 nov.	jusqu'au 7 janv.	7 janvier- 7 février	Février- Mai

Concentration, en milligrammes d'azote nitrique, par litre :

1. Prairie, depuis 40 ans . . .	417	194	194	446	38	11	20	27
2. Terre régulièrement fumée . .	242	281	256	174	33	18	27	27
3. Terre sans engrais depuis 4 ans	143	194	478	682	14	9	13	26

Azote nitrique des eaux de drainage, en kilogrammes par hectare :

1.	7.1	17.9	23.4	19.0	9.0	4.2	7.1	14.3	104.0
2.	20.7	26.0	33.1	20.8	7.6	7.1	9.7	12.5	137.5
3.	41.8	19.5	24.0	10.9	3.5	3.5	6.9	12.6	92.5

Ces chiffres de DEHÉRAIN sont très comparables à la teneur de notre jachère en azote nitrique (voir tableau 5 et graphique 5).

Nous pourrions également rappeler les résultats cités dans les ouvrages de DUMONT et d'ANDRÉ, mais ils n'indiquent que les concentrations des eaux sans mentionner la saison ni les conditions d'expérience.

Dans tous les cas, il est possible de penser qu'une terre de France maintenue en bon état de fertilité et bien travaillée peut laisser aux eaux de drainage des quantités d'azote nitrique comparables à une terre de Tunisie de fertilité moyenne, assez bien travaillée.

III. Nitrification et dénitrification

S'il importe de connaître le régime de l'azote nitrique dans le sol pour comprendre l'utilisation des fumures azotées, il est non moins important de connaître le sort des engrais incorporés au sol; que devient l'azote nitrique des engrais dans le sol ? est-ce qu'il dénitrifie ? passe-t-il partiellement ou totalement à l'état d'azote organique ? Quelle est la vitesse de la nitrification des engrais ammoniacaux et organiques et de la dénitrification ? Autant de questions sur lesquelles on n'est pas suffisamment bien renseigné et dont l'étude intéresse en même temps théoriciens et praticiens de l'agriculture.

L'étude en a été entreprise à Maison-Carrée. Menée avec une terre rouge, argileuse et dépourvue de calcaire libre, elle nous a donné des conclusions (L. Y., 1929 b) qui peuvent se résumer brièvement :

1° La vitesse de nitrification des engrais ammoniacaux est très grande.

2° Le rendement de la nitrification n'est pas égal à 100 %.

3° La dénitrification a une intensité assez grande pour que l'on doive toujours en tenir compte dans l'emploi des engrais azotés.

Ces conclusions ont été établies en nous basant sur la teneur moyenne de cinq pots de jardinier, paraffinés pour éviter les pertes par absorption dans les parois, et arrosés à volonté pour ne pas avoir de pertes par l'infiltration. Les résultats de notre étude de Maison-Carrée (déjà publiés) sont reproduits sur le graphique 8.

Nous avons énoncé nos conclusions comme une règle générale, puisque les analyses ont été minutieusement exécutées et ont donné des résultats incontestables. Mais nous avons considéré notre mélange de terre avec le calcaire comme une bonne terre normale; c'est une erreur, parce que les habitants du sol n'ont pas eu le temps de céder la place à d'autres qui correspondraient à la composition du sol que nous avons créé artificiellement; notre sol, tout en ayant la composition d'une terre bien constituée, gardait encore la microflore d'une terre manquant de chaux.

Désirant vérifier nos conclusions dans une terre argilo-calcaire brune, nous avons entrepris une nouvelle étude dans une des meilleures terres du Service Botanique et Agronomique de Tunisie de composition suivante :

Sable grossier siliceux.....	333,0
Sable grossier calcaire.....	175,0
Sable fin siliceux.....	99,0
Sable fin calcaire.....	173,0
Argile et organiques.....	220,0
dont l'humus.....	4,3
Azote.....	1,311
P ² O ⁵	2,26
K ² O.....	3,6
Mg O.....	7,3
Chlorures.....	Faibles traces

La terre est prélevée après la jachère, avant les semailles de blé; elle est donc au maximum de son activité.

Le but poursuivi par cette expérience a été :

a) établir si, dans les terres argilo-calcaires assez perméables, la dénitrification a la même importance que dans notre première étude;

b) comparer la vitesse de nitrification des engrais azotés contenant l'azote seul ou accompagné d'autres éléments considérés comme fertilisants ou non;

c) si possible, constater le passage de l'azote soluble des engrais à l'état d'azote organique.

Le schéma ci-dessous indique les engrais que nous avons employés et les éléments qu'ils contiennent :

Bac	ENGRAIS	Azote	P ² O ⁵	K ² O	MgO	SO ₃
1	Urée.....	+	0	0	0	0
2	Sulfate d'ammoniaque	+	0	0	0	+
3	Phosphate ammoniaco-magnésien chimique	+	+	0	+	0
4	Phosphate ammoniaco-magnésien commercial	+	+	0	+	0
5	Phosphate ammo-potassique.....	+	+	+	0	0
6	Terre seule sans azote des engrais ...	0	0	0	0	0
7	NO ³ Na.....	+	0	0	0	0
8	Sang desséché.....	+	0	0	0	0
9	Guano de poissons Angibaud.....	+	+	+	+	+
10	Fumier très décomposé	+	+	+	+	+

Chaque engrais apportait la même quantité d'azote, 0 ‰ 400 (400 milligrammes par kilogramme de terre sèche).

Plus tard, le 20 mars, nous avons ajouté encore trois bacs contenant une terre rouge (sous-sol des environs de Bordj-Toum) de composition suivante :

Sable grossier siliceux.....	410 %
Sable grossier calcaire.....	0
Sable fin siliceux.....	201
Sable fin calcaire.....	0
Argile + organiques.....	389
Azote.....	1,27 %
P ² O ⁵	1,01
K ² O.....	11,2
Mg O.....	9,5
Ca O (par permanganate).....	12,4

Le N° 11 a reçu du sulfate d'ammoniaque.

Le N° 12 a reçu du nitrate de soude.

Le N° 13 est laissé comme témoin.

Tous les bacs ont été gardés sous un abri, à l'ombre, mais aérés par le vent libre pour que leur température soit identique, autant que possible, à celle d'une couche de terre se trouvant à une profondeur, admettons, de 15 centimètres.

Cette expérience avec 13 bacs a duré de novembre 1930 à la fin d'août 1931, un temps largement suffisant pour se rendre compte de l'intensité de la dénitrification.

Du côté droit du tableau qui suit (tableau 17), nous indiquons la somme de l'azote organique, ammoniacal et nitrique. Elle peut servir comme indicateur de la précision obtenue dans les analyses. Nous sommes obligé d'avouer que nous avons espéré obtenir des résultats plus concordants. Le dosage de l'azote ammoniacal et de l'azote nitrique est fait chaque fois en simple. Le dosage de l'azote organique est fait en triple, par la méthode de KJELDAHL, en prenant la moyenne des trois dosages; l'opération a été conduite sur 5 grammes de terre seulement, parce que la terre argilo-calcaire est difficile à attaquer par l'acide sulfurique; or, la moindre erreur multipliée par 200 devient considérable. Il est à remarquer que le dosage de l'azote organique par la méthode de KJELDAHL est suffisamment précis pour les analyses ordinaires de terre, mais ne donne pas satisfaction dans les recherches sur la fixation de l'azote ou le passage de l'azote nitrique ou ammoniacal à l'état d'azote organique. Les précautions prises (dosage en triple, homogénéisation très soignée des échantillons) nous ont permis, cependant, de tirer quelques conclusions avec une certitude suffisante.

Le tableau de l'azote total, où chaque chiffre comprend des erreurs des trois déterminations et en même temps le changement de la teneur totale en azote des échantillons (par la fixation de l'azote ou par la dénitrification), contient quelques lignes régulières, mais le N° 3 est apparemment erroné le 20 mars et le N° 8 le 19 janvier; il faut supposer que le dosage de l'azote nitrique a été faussé par un accident. Les chiffres douteux sont entre des parenthèses.

Quant au reste des résultats, ils paraissent assez corrects, mais indiquent que, sur les trois déterminations effectuées (azote organique, azote ammoniacal et azote nitrique), l'erreur jusqu'à 50 mgr. sur 1.750 du total peut être considérée comme inévitable. Les conclusions qu'il serait intéressant d'avoir sur le passage de l'azote des engrais à l'état organique ne peuvent se faire qu'avec beaucoup de prudence.

TABLEAU 17

Etude sur la nitrification (Service Botanique et Agronomique de Tunisie, 1930-31)

N°	Azote organique, en milligrammes par kilo de terre sèche						Azote total, en milligrammes par kilo de terre sèche					
	15 nov.	19 janv.	20 mars	22 mai	28 août	15 nov.	19 janv.	20 mars	22 mai	28 août		
1	4314	1346	4397	—	1350	4754	4719	1768	—	1781		
2	4314	1372	1394	—	4361	4754	4699	4741	—	4742		
3	4314	1358	4385	—	1369	4754	1742	(4663)	—	1745		
4	1314	1421	1444	—	1388	1754	1732	4714	—	4740		
5	1314	1380	1367	—	1343	1754	1744	1724	—	1695		
6	4344	4310	4305	—	1257	4354	4350	1347	—	4306		
7	4314	—	1331	—	4342	1754	—	—	—	1770		
8	4714	1549	1437	—	4434	1754	(4829)	1755	—	4739		
9	1647	4541	1477	—	1490	1753	1756	1724	—	1752		
10	1664	4648	4621	—	1601	1753	4755	4695	—	4704		
11	—	—	1274	1339	4544	—	—	1695	1755	1686		
12	—	—	1274	—	—	—	—	1695	—	—		
13	—	—	1274	4282	4299	—	—	1295	1322	1369		

En examinant attentivement les résultats d'analyses relatifs à l'azote organique, on constate une augmentation de cette forme d'azote dans les cinq premiers numéros; le N° 7 paraît accuser également une légère augmentation, tandis que le témoin N° 6 montre une légère mais régulière diminution. Il est donc permis de croire qu'une certaine partie de l'azote des engrais passe à l'état d'azote organique; ce passage paraît temporaire, parce qu'à la fin de l'expérience nous enregistrons régulièrement une diminution de la teneur.

En soustrayant de tous les résultats 1.314 mgr. d'azote organique que l'on avait au départ, on obtient :

	19-I	20-III	28-VIII
N° 1 Urée.....	+ 32	+ 83	+ 36
N° 2 Sulfate d'ammoniaque.....	+ 38	+ 80	+ 47
N° 3 PO ⁴ Am Mg chimique.....	+ 44	+ 71	+ 55
N° 4 — commercial.....	+ 107	+ 97	+ 74
N° 5 Phosphate ammo-potassique...	+ 66	+ 53	+ 29
N° 6 Témoin.....	— 4	— 9	— 57
N° 7 NO ³ Na.....		+ 17	+ 28

Le passage de l'azote soluble à l'azote organique a lieu incontestablement. Il paraît être plus fort avec l'azote ammoniacal qu'avec l'azote nitrique; mais nous ne pouvons pas affirmer, en nous basant sur ces dosages de l'azote organique, que la nature de l'engrais employé a une influence marquée sur l'intensité du phénomène.

Dans l'autre terre (de Bordj-Toum), il y a eu fixation de l'azote par le témoin N° 13 et passage à l'état organique d'une sensible quantité de l'azote ammoniacal.

Le tableau de l'azote ammoniacal (tableau 18) démontre que l'azote des cinq premiers bacs diminue, en général, régulièrement; mais l'on constate des différences très sensibles dans la nitrification des engrais choisis.

Déjà le 19 janvier, le sulfate d'ammoniaque et l'urée ont de l'avance sur les phosphates; cette différence devient encore plus évidente dans la suite, le 24 février, quand les deux premiers sont complètement transformés, tandis que les trois phosphates laissent encore dans le sol beaucoup de leur ammoniaque. Il est à remarquer que les phosphates ammoniaco-magnésiens sont les plus lents; particulièrement progressif est le phosphate ammoniaco-magnésien chimique (précipité cristallin pur de phosphate ammoniaco-magnésien).

Le nitrate de soude a d'abord tendance à augmenter la teneur du sol en azote ammoniacal, mais ce dernier disparaît de nouveau au printemps,

TABLEAU 48

Étude sur la nitrification. Service Botanique et Agronomique de Tunisie
1930-31

AZOTE AMMONIACAL, EN MILLIGRAMMES, PAR KILO DE TERRE SÈCHE							
	15 nov.	18 déc.	19 janv.	24 févr.	20 mars	22 mai	28 août
1	408.5	304 d*	73	14	5	—	6
2	408.5	284	77	9	4	—	6
3	408.5	337	244	143	63	—	6
4	408.5	270	182	100	53	—	7
5	408.5	304	204	54	19	—	6
6	8.5	4	2.4	2.7	2.7	—	6
7	8.5	30	13	7	6	—	6
8	8.5	463	75	21	6	—	5
9	75.0	154	82	32	7	—	5
10	9.3	8	4	34	3	—	4
11	—	—	—	—	409	284	42
12	—	—	—	—	9	9	9
13	—	—	—	—	9	7	7

AZOTE NITRIQUE, EN MILLIGRAMMES, PAR KILO DE TERRE SÈCHE							
1	31.4	153 d	300	357	366	—	425
2	31.4	110	250	323 d	313 a**	—	375
3	31.4	42	110	213	215 a	—	340
4	31.4	59	429	207	250	—	344
5	31.4	54	160	306	338	—	346
6	31.4	30	38	33	34	—	43
7	431.4	380	369	409	—	—	422
8	31.4	58	—	202	312	—	300
9	31.4	66	133	485	240	—	257
10	80.0	89	103	68	91	—	99
11					42	132	100
12					412	442	332
13					12	33	64

REMARQUES : * La lettre d indique que ce chiffre est à *diminuer*.
** La lettre a indique que ce chiffre est à *augmenter*.

Le sang desséché nitrifie presque aussi rapidement que le sulfate d'ammoniaque; le guano de poissons est également un engrais azoté rapide.

Tous deux paraissent ne pas être homogènes et laissent dans le sol une partie de leur azote, qui est peu active.

Le fumier très décomposé (le terreau de fumier) est peu actif; sa teneur en azote ammoniacal a augmenté légèrement en février, mais l'augmentation de l'azote nitrique est tout le temps faible.

Le tableau de l'azote nitrique contient quelques irrégularités qui sont indiquées sur le tableau même et que l'on peut bien voir sur le graphique. Les chiffres obtenus sont indiqués par des points; la courbe passe au voisinage; la flèche indique le sens de la modification apportée.

En général, les indications fournies par le dosage de l'azote nitrique correspondent exactement aux précédentes obtenues avec l'azote ammoniacal. On remarque que la somme azote nitrique+azote ammoniacal ne fait pas 440 mgr. : il y a eu un passage à l'état organique, particulièrement sensible pour le N° 3.

Il est inutile de parler des dix premiers bacs, parce que ce qui a été dit à propos de l'azote ammoniacal serait à répéter. Mais il faut attirer l'attention sur le N° 11; nous avons trouvé cette fois, comme à Maison-Carrée, une forte diminution en azote nitrique vers la fin de l'essai. Les terres sans calcaire ne sont pas aptes à accumuler autant d'azote nitrique que les terres calcaires.

Les changements de la teneur en azote ammoniacal et en azote nitrique sont présentés sur le graphique 9.

Certainement, on sait déjà que la dénitrification est un phénomène courant dans les terres. Dans quelles terres ? Dans quelle mesure ? Cette étude apporte à ces questions quelques précisions en établissant que :

la nitrification est intégrale dans les terres argilo-calcaires saines; dans ces terres, il n'y a pas de dénitrification; seul, un léger passage à l'état d'azote organique a eu lieu pour une période relativement courte;

la nitrification des engrais ammoniacaux dans les terres non calcaires peut conduire à une perte pure de l'azote dans l'atmosphère, comme à Maison-Carrée, ou à une accumulation de l'azote organique, comme à Bordj-Toum.

Ces études n'ont pas permis de trouver le moyen de distinguer, par une analyse physique et chimique, les terres dénitrifiantes pour les

classer dans la première ou la deuxième catégorie. Ce problème appartient plutôt aux microbiologistes du sol.

En résumant nos études sur la nitrification, on peut énoncer que :

La vitesse de nitrification est grande dans les sols et plus faible dans le sous-sol de Bordj-Toum; trois mois seulement sont nécessaires pour la nitrification du sulfate d'ammoniaque dans la terre du Service Botanique et Agronomique; trois mois également dans une terre de Maison-Carrée; plus de cinq dans le sous-sol de Bordj-Toum.

La vitesse de nitrification est plus grande si l'on fait nitrifier l'azote ammoniacal non accompagné de fortes quantités d'acide phosphorique et de potasse ⁽¹⁾.

La nitrification est accompagnée régulièrement du passage d'une certaine fraction de l'azote d'engrais à l'état d'azote organique;

Le passage à l'état organique peut être très intense dans le cas de terres sans calcaire, où il faut le considérer comme une véritable dénitrification, parce qu'il se fait au dépens de l'azote nitrique également;

Dans d'autres cas de terres dépourvues de calcaire, la dénitrification est accompagnée de la perte d'azote dans l'atmosphère.

IV. Les autres formes de l'azote du sol

a. AZOTE AMMONIACAL

Si l'étude de l'azote nitrique de la terre présente un intérêt direct, — parce que cette forme d'azote est immobile et directement assimilable, et parce que les variations de la teneur en azote nitrique sont saisonnières et importantes. — nos connaissances sur la teneur de la terre en azote ammoniacal devraient présenter un certain intérêt parce que lui aussi est une forme assimilable, quoique retenue par le pouvoir absorbant du sol.

Cependant, jamais l'étude de l'azote ammoniacal n'a pu donner des résultats aussi utiles que la précédente : il n'existe pas encore de méthode reconnue exacte pour le dosage de cette forme d'azote dans la terre; la teneur en azote ammoniacal est plus ou moins constante au cours de l'année entière; en effet, l'azote ammoniacal est un terme de passage entre l'azote des matières organiques et l'azote nitreux et nitrique; si le pouvoir absorbant de la terre n'intervenait pas, on devrait trouver dans la terre une quantité aussi faible de cette forme

(1) Nous avons montré que l'addition des autres éléments que l'azote en petite quantité a augmenté; par contre, la vitesse de nitrification, comme l'on peut le voir au tableau 11, page 158, *Emploi des engrais azotés dans l'Afrique du Nord*.

que d'azote nitreux; et, dans ce cas, les dosages deviennent inutiles, vu sa trop faible quantité.

Il n'est cependant pas impossible que cette étude, menée par une méthode reconnue la meilleure, puisse fournir des résultats qui ne manqueraient pas d'intérêt.

Nous sommes obligé d'avouer que les nombreuses analyses que nous avons faites ne nous ont donné aucune conclusion profitable, parce que la méthode employée a été trop grossière : nous mettions 20-50 grammes de terre dans un ballon de 1 litre, ajoutions 250 cc. environ d'eau et distillons en présence de magnésie calcinée, chaque fois 45 cc., dans une fiole jaugée de 50 cc. Le titrage se faisait avec le réactif de NESSLER, suivant la méthode colorimétrique de POUGET (1913).

Nous obtenions régulièrement, dans les terres du Service Botanique et Agronomique, des teneurs qui variaient entre certaines limites en se maintenant autour d'une moyenne qui se conservait toute l'année (voir tableau 19).

Les moyennes obtenues sont assez comparables entre elles et n'indiquent pas le rôle du travail du sol, des plantes et des saisons. C'est un indice que la méthode de dosage n'est pas bien choisie. Un autre indice, c'est le résultat relativement élevé qu'elle fournit; nous croyons que si la teneur doit être supérieure à celle d'azote nitreux, elle doit tout de même être relativement faible, parce que l'azote ammoniacal n'est qu'une forme de passage, surtout dans les terres calcaires.

A la base de chaque recherche est une hypothèse qu'on cherche à justifier ou que l'on est conduit à abandonner.

Nous avons supposé que la magnésie calcinée, non seulement chasse l'azote ammoniacal, mais provoque la décomposition de certaines matières organiques du sol peu stables.

En effet, le dosage de l'azote ammoniacal sur les eaux de drainage nous a fourni un résultat beaucoup plus bas; en appliquant le même mode opératoire, nous avons trouvé la teneur moyenne des dix bacs de 90 centimètres (moyenne de 60 analyses) de 0 mgr. 558 d'azote ammoniacal par litre d'eau recueillie. Cela aurait donné pour le sol, qui est capable de retenir près de 20 % d'humidité, 250 grammes d'eau dans un kilogramme de terre sèche; donc, 0 mgr. 140 d'azote ammoniacal par kilogramme de terre sèche. L'écart est considérable, la méthode appliquée par nous donne des résultats environ 17,5 fois plus forts; même en admettant que les eaux d'infiltration n'ont pas pu emporter l'azote ammoniacal retenu par le pouvoir absorbant du sol, cette différence paraît exagérée.

TABLEAU 13

Analyse chimique des terres du Service Botanique et Agronomique de Tunisie

						EN KILOGRAMMES	
						par kilo de terre sèche	par hectare
Jachère	0-30 cm.	—	—	—	—	2.67	8.811
	30-60	—	12 analyses	—	—	4.95	8.307
	60-90	—	12	—	—	1.67	7.144
Blé	0-30 —	—	9 analyses	—	—	2.98	9.834
	30-60	—	10	—	—	2.93	9.650
	60-90	—	8	—	—	2.07	8.818
Vesce	0-30	—	8 analyses	—	—	3.15	10.395
	30-60	—	8	—	—	1.95	8.307
	60-90	—	7	—	—	2.31	9.841
Blé	0-30 —	—	4 analyses	—	—	2.34	7.623
	30-60	—	3	—	—	4.96	8.350
	60-90	—	1	—	—	2.03	8.648
Inculte	0-30 —	—	5	—	—	2.52	8.316
	30-60	—	5	—	—	2.02	8.605
	60-90	—	5	—	—	2.08	8.861

Nous avons appliqué alors, sur quelques prélèvements de terre, une nouvelle méthode de dosage : à un poids variable de terre (déterminé par le tâtonnement), de 25 à 50 grammes, placé dans un ballon de 1 litre, nous avons ajouté 350 cc. d'eau et 1-1,5 grammes de magnésie calcinée; le distillat, contenant l'azote ammoniacal, a été recueilli par fractions successives de 10, 15, 20, 30, 45 cc.; sur chaque fraction, nous avons effectué le dosage de l'azote ammoniacal, avec le réactif de NESSLER, en appliquant la méthode colorimétrique. Nous avons obtenu des résultats, réunis dans le tableau 20 ci-après, qui expliquent l'insuccès de notre méthode primitivement employée.

Le graphique 10 montre bien les différences que présentent les échantillons analysés. Le sol prélevé en hiver (sh) donne beaucoup d'azote ammoniacal d'abord et continue à en donner des quantités notables même à la fin de notre essai; il contient des matières organiques facilement décomposables même par la magnésie calcinée. Le sous-sol de 30 à 60, au même endroit (ssh), donne beaucoup d'azote ammoniacal d'abord, mais les quantités deviennent faibles vers la fin : il contient peu de matières organiques facilement décomposables. Les deux sols, analysés en automne aussi, ne se ressemblent pas; le sol 1 (sa 1) au commencement de la distillation fournit plus d'azote que sa 2, mais les débits deviennent inverses vers la fin.

Le petit graphique 10 est destiné à montrer comment nous avons procédé pour déterminer l'azote ammoniacal. Admettons que la courbe a b c... est obtenue en réunissant les points a, b, c... donnés par les dosages faits sur les fractions du distillat et calculés par centimètre cube du distillat; à partir du point d, la courbe se confond avec une droite; cette droite est supposée représenter la décomposition progressive des matières organiques du sol par la magnésie calcinée. Les écarts aa¹, bb¹, cc¹..., multipliés par le volume auquel ils correspondent, doivent indiquer l'azote ammoniacal; l'azote ammoniacal peut être déterminé comme égal à :

$$aa^1 \times va + bb^1 \times vb + cc^1 \times vc + \dots$$

Ainsi déterminé graphiquement, il est indiqué dans le tableau 17 sous l'appellation d'azote ammoniacal réel. L'exactitude absolue ne peut pas être obtenue par cette méthode, parce que les matières organiques décomposables doivent être assez nombreuses et se décomposer les unes plus que les autres; la droite a, b, c devrait être légèrement incurvée, mais on ne commettrait pas une grande erreur en la confondant avec une droite.

L'azote ammoniacal réel montre des différences marquées entre les échantillons analysés, beaucoup plus marquées que par la méthode appliquée primitivement.

Ainsi, cette méthode, longue et d'une application difficile à cause de la propreté qu'elle exige, semble pouvoir fournir une caractéristique de la terre en donnant sa courbe de distillation avec la magnésie calcinée; cette courbe présente quelques analogies avec les courbes d'acide phosphorique assimilable trouvées par GRÉGOIRE à Gembloux; la courbe obtenue permet le dosage graphique de l'ammoniaque.

Nous n'avons pas essayé des méthodes proposées par d'autres chercheurs, espérant pouvoir le faire plus tard. Ces méthodes peuvent être classées en deux groupes :

1° l'azote ammoniacal retenu par le pouvoir absorbant de la terre est mobilisé par l'action de l'acide chlorhydrique; la solution seule sert pour le dosage de l'azote ammoniacal par distillation, en présence de magnésie calcinée, en prenant des précautions spéciales pour ne pas décomposer les combinaisons amidiques, également présentes dans la solution. Les précautions sont le chauffage à 40° seulement et la distillation sous le vide. La description complète de la méthode est indiquée dans *Contribution à l'étude azotée des végétaux*, par I. POUGET et D. CHOUCHAC;

2° la mobilisation de l'azote ammoniacal se fait par une solution diluée de chlorure de potassium (1 % suivant les uns, 3 % suivant les autres); le dosage se fait colorimétriquement, par le réactif de NESSLER, directement sur la solution obtenue ou après la séparation préalable de l'ammoniaque par distillation.

Ce court chapitre ne présente pas une étude finie comparable à celle sur l'azote nitrique. Cependant, nous considérons ces quelques ébauches d'études comme utiles pour les chercheurs, qui y trouveront des méthodes proposées et éviteront les tâtonnements; pour les praticiens, qui pourront voir que l'azote ammoniacal dans une terre argilo-calcaire du Service Botanique et Agronomique se trouve en quantité voisine de 0 mgr. 6 environ par kilogramme de terre sèche; rapporté à l'hectare, il sera près de 2 kilogrammes dans la couche de 30 centimètres d'épaisseur.

b. AZOTE NITREUX

Ecartant l'azote nitreux qui, comme nous avons eu l'occasion de le dire (L. Y., 1929 b), se trouve dans les terres argilo-calcaires à l'état de faibles traces (0 kg. 2 par hectare) et en quantité plus considérable dans les terres dépourvues de calcaire, surtout au mois de février, quand la terre est gorgée d'eau, pouvant atteindre même 6 kg. par hectare, l'écartant parce qu'il est en quantité négligeable dans des terres saines, nous arrivons à l'azote organique du sol.

C. AZOTE ORGANIQUE DU SOL

Il peut être étudié à deux points de vue : mobilisation de l'azote organique existant dans le sol par l'activité des microbes; fixation de l'azote atmosphérique par les microbes, fixation qui fournit l'azote organique, probablement dans des combinaisons facilement décomposables.

L'alimentation de la récolte en azote se fait en utilisant toutes les formes de l'azote soluble : l'azote nitrique, l'azote ammoniacal, ou des amines, ou même des albuminoïdes solubles (I. POUGET et D. CHOUGHAC); mais les formes solubles étant absorbées, c'est la mobilisation de nouvelles quantités d'azote organique qui maintient l'alimentation de la récolte. Deux questions importantes se posent :

Avec quelle vitesse les matières organiques du sol se décomposent-elles ?

Quelle est l'intensité de la fixation de l'azote par nos terres ?

Ces deux questions peuvent être étudiées simultanément. En remplissant des récipients (assez volumineux de préférence, pour faire la culture des plantes dans les conditions normales de pluviométrie et de température) de terres bien connues et rendues homogènes, on peut y faire des cultures successives, en déterminant l'azote dans les eaux d'infiltration, dans les récoltes et dans la terre au début de la mise en train de l'expérience et à la fin. Dans ces conditions, seule la perte de l'azote nitrique dans l'atmosphère (par la dénitrification) reste non déterminée.

D'autre part, il est à remarquer qu'une expérience de cette importance demande beaucoup de temps et se heurte à la faible précision des méthodes de dosage de l'azote organique dans les terres.

Cette expérience, suivie au moins pendant dix ans, pourrait renseigner sur la nécessité de s'inquiéter, dans l'avenir, du maintien de la fertilité par l'emploi des engrais azotés, dans les terres où, à présent, ces engrais paraissent superflus.

Une expérience de ce genre a été entreprise en Californie par « California Agricultural Experiment Station » avec treize terres différentes; l'expérience a été commencée en 1915 et finie en 1928. Les rendements en orge ont très sensiblement diminué, et la teneur de la terre en azote a baissé très considérablement dans les terres en culture continue et sensiblement, quoique moins, dans les terres en jachère.

Quant aux terres nord-africaines, des expériences précises n'ont pas

été faites. Bornons-nous à dire que plusieurs agriculteurs trouvent que l'assolement biennal jachère-blé leur fournit, après trente ans d'exploitation, des récoltes aussi bonnes qu'aux premières années, en n'employant que des engrais phosphatés; que d'autres, par contre, constatent déjà des diminutions sensibles de rendements et cherchent le remède dans les engrais; après avoir commencé par le superphosphate, on arrive, dans de nombreuses localités, à l'emploi du superpotassique. Quelques agriculteurs des régions assez pluvieuses commencent à s'intéresser de plus en plus aux engrais azotés.

V. Résumé des recherches de laboratoire

L'étude sur l'accroissement du Florence 135 fournit des données importantes à connaître sur l'assimilation des éléments fertilisants par cette variété, semée le 1^{er} décembre, après une jachère. Quant à l'azote, objet de notre étude, il est absorbé de manière assez différente de celle qu'indique GAROLA : nos jachères, riches en azote nitrique, déterminent une absorption plus grande en janvier, février et début de mars; nous avons constaté un certain ralentissement vers la fin de mars et le commencement d'avril, une nouvelle reprise d'absorption en avril, puis le ralentissement avec l'arrêt de la vie des plantes. En quelques mots, l'alimentation azotée de la récolte est, chez nous, plus facile que dans les conditions où expérimentait GAROLA.

L'étude sur le régime de l'azote nitrique dans une terre argilo-calcaire du Service Botanique et Agronomique de Tunisie nous a permis de montrer que le travail du sol est le moyen de régler la quantité d'azote assimilable du sol, au moins pour un certain temps. Une jachère peut accumuler 100 et même 120 kilos d'azote nitrique; un champ ayant donné une récolte de blé, s'il est bien labouré, peut en avoir près de 70 kilos par hectare.

Notre terre est, donc, aussi riche en azote que quelques terres, probablement des plus fertiles, qu'avait étudiées DEHÉRAIN, et de beaucoup supérieure à celle de Rothamsted.

Cependant, les pluies et les besoins de la récolte déterminent une pauvreté, relative et passagère, en azote assimilable vers la fin de mars et les premiers jours d'avril. Ce manque d'azote, incontestablement établi, nous a incité à entreprendre une longue série d'expériences dans les champs pour déterminer l'efficacité des engrais azotés appliqués au printemps. Nous allons les voir dans le chapitre suivant. Nous avons choisi des dates pour les applications des engrais azotés en supposant que la meilleure époque est le 15 février; nous

les avons choisies exprès plus tôt et plus tard pour nous rendre compte de l'effet d'une application anticipée ou différée.

La richesse des terres en azote nitrique permet de prévoir que le blé après la jachère peut avoir un besoin très faible en azote supplémentaire apporté par les engrais; ce besoin peut être plus considérable après une culture.

Dans le chapitre des drainages, nous avons étudié la concentration des solutions du sol en azote nitrique. Cette concentration peut arriver à un chiffre assez élevé de 240 mgr. en été et, à la profondeur de 90 centimètres, une concentration qui dépend du caractère des pluies : les averses provoquent une diffusion des nitrates du sol; la pluie fine les fait descendre sans changer leur concentration aussi fortement que les premières. Nous avons cherché à résoudre la question des pertes d'azote nitrique par les infiltrations dans le sous-sol profond, inaccessible aux racines. Nous avons présenté un assez grand nombre de données dont l'ensemble démontre que l'azote nitrique peut être perdu par l'infiltration dans les régions à terre moyennement perméable et recevant plus de 500 millimètres de pluie. Si l'azote nitrique dans les régions pluvieuses est régulièrement perdu par l'infiltration, la réalisation de la culture continue ne se heurte qu'à la question des mauvaises herbes et du matériel agricole. Quant aux régions à pluviométrie plus faible, la conservation de la jachère peut être considérée comme imposée par le climat.

Pour se prononcer sur l'époque d'application d'un engrais azoté, il faut connaître sa destinée dans le sol : dans le chapitre sur la nitrification des engrais, nous avons étudié avec minutie quelques exemples de nitrification, en faisant varier les engrais et les terres. Cette étude nous a permis d'apporter des précisions sur la vitesse de ce phénomène. Nous avons montré que l'urée, le sulfate d'ammoniaque et le sang desséché — les engrais où l'azote est le seul élément fertilisant — nitrifient rapidement; que les engrais où l'azote est associé à l'acide phosphorique en fortes quantités nitrifient plus lentement et que leur nitrification semble être accompagnée d'un passage plus marqué à l'état d'azote organique.

La nitrification de la cyanamide dans une terre dépourvue de calcaire a été étudiée dans une note précédente (L. Y., 1929 b, p. 159); elle se montre plus lente que celle du sulfate d'ammoniaque; le retard est de 30 jours si l'on opère à la température du printemps.

Parallèlement à l'étude de la nitrification, nous avons pu montrer que la dénitrification est faible dans notre terre argilo-calcaire et qu'elle est forte dans des terres dépourvues de calcaire. La dénitrification peut conduire à l'accumulation de l'azote organique ou peut-

être à une pure perte, avec libération de l'azote dans l'atmosphère. Mais nous n'avons pas pu saisir le mode de distinction entre ces deux terres, qui nous aurait permis de classer une terre donnée dans la catégorie des « dénitrifiantes en pure perte » ou des « dénitrifiantes avec la transformation en azote organique ».

Enfin, nous avons ébauché l'étude de l'azote ammoniacal.

Il reste encore, pour que l'étude de l'azote soit complète, d'entreprendre des travaux de longue durée pour déterminer l'intensité de la fixation de l'azote atmosphérique et de la vitesse de la destruction des matières organiques du sol.

*
**

En entreprenant l'étude sur la nitrification des engrais azotés, dans une terre argilo-calcaire, nous avons voulu trouver la réponse à une question qui peut intéresser l'application des engrais azotés sur le blé. Puisque nous avons démontré que l'alimentation azotée la plus déficitaire se produit à la fin mars, il faudrait trouver un engrais qui, appliqué aux semailles ou dès les premiers jours de février au plus tard, pourrait assurer l'alimentation convenable du blé principalement en mars. L'application plus tardive rend l'enfouissement de l'engrais impossible, parce que le blé devient trop grand.

Dans notre étude, nous avons obtenu le maximum d'action ⁽¹⁾ du sulfate d'ammoniaque, 50 jours après l'application;

De l'urée, 50 jours après l'application;

Du phosphate ammoniaco-magnésien chimique, 90 jours après l'application;

Du phosphate ammoniaco-magnésien commercial, 75 jours après l'application;

Du phosphate ammoniaco-potassique, 75 jours après l'application.

Si l'expérience était commencée le 1^{er} février, par exemple, ces durées ne seraient que peu raccourcies, parce que c'est seulement vers la fin d'avril que le sol commence à se réchauffer rapidement.

Les nitrates (de chaux ou de soude) devraient être épandus vers le 1^{er} mars pour que les pluies aient le temps de les incorporer au sol; or, à ce moment, les plantes sont grandes; l'épandage est difficile, et les pluies peuvent manquer également.

Le sulfate d'ammoniaque peut être épandu vers le 1^{er} février et suivi d'un vigoureux hersage. Il est impossible que quelques pluies

(1) On a pris pour le maximum d'action le moment où 60 % d'azote de l'engrais sont nitrifiés.

ne viennent en février pour parfaire son incorporation au sol et pour diffuser les nitrates formés.

Quant aux phosphates ammoniacaux cités, ils auraient l'avantage de pouvoir s'appliquer en plein mois de janvier, quand le hersage est facile en même temps qu'utile pour la destruction des mauvaises herbes.

*
* *

Doit-on avoir une grande confiance dans l'emploi des engrais azotés au printemps ?

Le succès dépend de plusieurs conditions.

En général, si la pluviométrie annuelle est inférieure à 450 millimètres, l'emploi des engrais azotés dans les terres ayant plus de 1 % d'azote n'est pas utile.

Une autre considération est relative à la répartition des pluies. Si l'automne et l'hiver ont été secs et beaux, les semailles de novembre réussies fournissent des plantes bien nourries (les solutions du sol se maintiennent concentrées) et fortement tallées; les pluies de printemps, même fortes, n'arriveront pas à emporter les nitrates du sol à une grande profondeur, et les racines les utiliseront. Aucun engrais azoté ne donnera une augmentation de rendement dans une terre moyennement productive, parce que, en années pareilles, c'est surtout la sécheresse qui est à craindre.

Si l'automne et l'hiver sont pluvieux, le cas est tout différent. Les nitrates sont emportés à une grande profondeur. Il faut aider la plante, et l'on peut faire une application d'engrais azoté pour donner à la végétation plus de vigueur; la couleur des plantes peut donner des indications utiles. Faut-il mettre l'engrais en janvier, en février ou en mars ? Nous n'avons pas eu la possibilité de faire des essais suffisamment nombreux pour résoudre cette question; il est possible que l'application d'un engrais (comme le nitrate d'ammoniaque ou un autre engrais ammonitrique) en une seule fois puisse donner un bon effet; ou, il est possible, que l'application en deux fois permette mieux d'obtenir l'effet cherché.

Si la région est pluvieuse, à moyenne annuelle supérieure à 500^{mm} de pluie, il est important de faire des semis précoces pour que le blé ait de bonne heure des racines puissantes; comme l'azote nitrique du sol est en partie utilisé par la végétation et en partie emporté par les eaux d'infiltration, l'application des engrais azotés au printemps doit avoir un très bon effet. Naturellement, une fumure phosphopotassique doit être donnée aux semailles, pour que l'azote puisse, sans faute, produire tout son effet.

Enfin, si le sol est peu fertile (pauvre en azote nitrique après la jachère), ou si, étant fertile, il a donné quelques récoltes déjà, il demande des fumures intenses; superphosphates et engrais potassique sont indispensables; et l'azote doit être donné au printemps ou en automne, suivant la pluviométrie et l'époque des semailles.

Il reste à remarquer qu'il est difficile de prévoir tous les cas qui peuvent se présenter dans la pratique agricole; c'est seulement en étudiant la météorologie de la localité en question, la nature des terres et les autres conditions de l'exploitation que l'on peut se créer une idée à peu près exacte sur les assolements à choisir et sur les engrais à employer. Quelques essais, sur de petites surfaces, pour ne pas avoir de grands déboires, permettront de se rendre compte des erreurs des conclusions établies *a priori* et d'y apporter quelques retouches.

B. EXPERIENCES SUR LE TERRAIN

a. A MAISON-CARRÉE, A L'INSTITUT AGRICOLE D'ALGÉRIE

Le Laboratoire d'Agrologie de l'Institut Agricole d'Algérie était doté d'un champ d'expériences comprenant 4 séries de 30 parcelles de 2^{m2}. La composition de la terre a été indiquée (chap. A, § 1, c, éch. B); c'est une terre argileuse, dépourvue de calcaire libre, contenant 1 % d'azote, 0,75 % d'acide phosphorique (P² O⁵) et 3 % de potasse. La chaux, dosée par la méthode au permanganate, s'y trouve en proportion de 7,5 %.

En 1927, on y a ajouté 24 parcelles de 4^{m2}.

Les expériences avec les engrais azotés ont été commencées en 1926-27. Les engrais azotés accompagnés des engrais phosphatés et potassiques ont été appliqués en automne, sur le blé tendre Mahon 11, et n'ont pas donné de résultats. Comme l'expérience a été conduite par la méthode des parcelles répétées et sur une terre qui, l'année précédente, était déjà cultivée en céréales, l'inefficacité des engrais azotés nous a paru intéressante : d'une part, parce qu'ayant foi dans les engrais, nous avons été surpris de leur inaction; d'autre part, parce que les engrais azotés étaient surtout à étudier, à cause de leur faible emploi dans l'Afrique du Nord.

Pour cette raison, en 1927-28, nous avons pu réaliser un assez vaste programme de travail :

le champ d'expérience était utilisé pour les essais avec les engrais phosphatés, potassiques et azotés;

l'étude de la nitrification du sulfate d'ammoniaque et de la cyanamide était commencée;

la méthode de dosage de l'azote nitrique dans la terre était étudiée; les dosages étaient commencés sur les terres en place;

une expérience dans la terre d'Oued-Smar nous était permise sur l'avoine (L. Y., 1929 b, p. 128) sur des parcelles d'un demi-hectare;

une autre expérience avec les engrais a été faite avec la pomme de terre, dans une terre rouge de composition voisine de l'échantillon A indiqué (chap. A, § 1, c).

Ces expériences ont abouti à des résultats importants :

L'étude sur la nitrification des engrais nous a permis de nous prononcer sur l'intensité de la dénitrification dans les terres manquant de calcaire; elle nous a incité plus tard à reprendre la question à L'Ariana, dans une terre argilo-calcaire.

L'étude de l'azote nitrique des terres, continuée à L'Ariana, nous a donné une série de chiffres de grand intérêt, malgré l'impossibilité d'opérer régulièrement sur la même parcelle de terre.

Les essais au champ d'expérience ont indiqué que la terre peut être considérée comme productive sans apport d'engrais, de quelque nature qu'ils soient, sauf ceux qui apportent de la chaux; le nitrate de chaux ammoniacal s'est montré remarquable pour l'application au printemps.

Mais, beaucoup plus que les engrais, l'époque des semailles a eu une influence marquée.

Cela nous a permis de conclure qu'une terre pareille à celle du champ d'expérience de l'Institut est capable de fournir de bons rendements en blé à la condition d'être bien travaillée et ensemencée à temps. C'est la conclusion principale.

Les engrais phosphatés et potassiques n'ont pas réagi.

Les engrais azotés avaient une action faible s'ils étaient employés aux semailles. On pouvait constater cependant que leur action devenait de plus en plus sensible à mesure que le blé était semé plus tardivement et que l'épandage des engrais se faisait tard (nous avons même essayé l'épandage au 23 mars).

Ces résumés, avec plus de détails, ont été publiés dans notre première note (L. Y., 1929 b, pp. 125-130).

*
**

L'expérience avec la pomme de terre irriguée, commencée le 4 avril et finie le 13 juillet, a démontré l'importance des engrais dans une

terre fertile, mais appauvrie par les pluies d'hiver. Cette expérience sur des parcelles de 50^m2 a donné des résultats indiqués dans le tableau 21 ci-après.

(Tous les chiffres du tableau qui suit (tableau 21) sont rapportés à l'hectare.)

La potasse, sans azote, a donné une légère diminution de rendement. L'azote sans potasse a, par contre, sensiblement augmenté la récolte. Les deux éléments ensemble ont une action très marquée et le rendement a dépassé celui obtenu avec l'azote seul, en donnant le plus grand bénéfice. Le soufre n'a pas réagi. Le rendement du témoin a été déjà assez bon. Cette expérience confirme que la pomme de terre réussit bien sur des terres légèrement acides, qu'elle est surtout sensible au sulfate d'ammoniaque.

Il résulte de l'ensemble de ces constatations que si la plante a une durée de végétation longue, elle profite d'une partie de l'azote nitrique accumulé dans le sol; comme elle occupe longtemps le terrain et l'exploite au mieux par ses racines, les engrais ont peu d'action; le sol pourvoit seul à une alimentation suffisante de la récolte. Mais dès que la plante doit se développer dans un temps court, le besoin d'engrais devient grand.

Enfin, dans l'expérience (dont on pourra voir les détails : L. Y., 1930 b) avec application des engrais azotés sur l'avoine à Oued-Smar, semée le 22 décembre 1927, les engrais azotés ont à peine marqué leur action. Cependant, ce champ a été occupé l'année précédente par le blé et les semailles ont été faites tardivement, — deux conditions qui devraient être plutôt favorables à une bonne action des engrais. La cause exacte de cette médiocrité des rendements (près de 7 quintaux de grain par hectare) n'est pas claire; probablement, la préparation de la terre était insuffisante; d'autre part, on aurait eu avantage à utiliser, pour cette semaille tardive, une orge, qui est beaucoup moins exigeante en humidité de la terre que l'avoine. Enfin, il se peut que la chaux était le facteur limitant, quoique l'avoine s'accommode facilement de terres légèrement acides.

b. AU SERVICE BOTANIQUE ET AGRONOMIQUE DE TUNISIE, A L'ARIANA

1928-29

Nous avons étudié l'action des engrais azotés, — sulfate d'ammoniaque et nitrate de soude, — appliqués en couverture, sans enfouissement, en hiver et au printemps (L. Y., 1930 b, pp. 145-155).

Cinq époques ont été essayées pour le sulfate d'ammoniaque et deux pour le nitrate de soude: en employant 50 kilos d'azote par hec-

TABLEAU 21

Action de l'azote, de la potasse et du soufre sur la pomme de terre (Saucisse) à Maison-Carrée 1928

ENGRAIS, EN KILOS par hectare					Rendement en tubercules	Excédent par rapport au témoïn	Valeur de l'excédent	Prix des engrais	Bénéfice	REMARQUES
Azote	P ² O ⁵	K ² O	Soufre							
50	60	40	0		24.940	5.440	2.720	550	2.170	I kilo de pomme de terre est compté 0 fr. 50
0	60	80	0		15.940	— 560	— 280	322	— 607	
0	60	0	0		16.500	Témoïn	Témoïn			
50	60	80	80		24.700	5.200	2.600	755	1.845	
50	60	0	0		20.220	3.720	1.800	453	1.407	

Azote est donné sous forme de sulfate d'ammoniaque.

P²O⁵ — — de superphosphate.

K²O — — de sulfate de potasse.

lare, nous avons obtenu, à la récolte, les excédents de grain suivants, comparés au témoin sans azote (rapporté à l'hectare) :

Engrais	Epandage	Excédent, qx.
Nitrate de soude.....	18 février	3.65
—	6 avril	4.64
Sulfate d'ammoniaque	1 janvier	3.11
—	1 février	4.42
—	25 —	2.65
—	15 mars	4.84
—	5 avril	4.85

Le témoin a donné un très bon rendement de 26 qx 25 par hectare, (Richelle 110 c, après jachère.)

1929-30

Nous avons découpé des parcelles de 5 mètres carrés pour essayer de nouveau l'application des engrais azotés en couverture, le superphosphate et le sulfate de potasse étant appliqués quelques jours avant les semailles. L'azote a été donné à raison de 25 kilos à l'hectare aux époques suivantes :

Témoin sans azote.....	5 parcelles		
Sulfate d'amm.....	5	—	20 janvier
	5	—	20 février
	5	—	20 mars
Nitrate de soude.....	5	—	15 février
	5	—	15 mars
	5	—	5 avril

Les conditions météorologiques de l'année ont été indiquées dans l'Introduction. Nous n'avons pas pu constater de différences entre les parcelles de notre champ; le rendement des témoins, comme celui des parcelles avec l'azote, a été de 19 quintaux de grain (Florence 135, semé après l'orge-fourrage).

1930-31

Deux essais ont été entrepris :

1) Dans un champ de Florence 135 semé, après jachère, le 3 décembre, nous avons choisi un endroit qui présentait une végétation bien uniforme et exempte de mauvaises herbes. Nous avons découpé des parcelles de $2^m \times 5^m = 10$ mètres carrés, pour essayer l'action des

engrais azotés en couverture. Le champ n'a pas reçu de superpotas-sique (le champ d'expérience organisé primitivement a été détruit par l'inondation causée par les pluies de décembre); ce champ, à peu de répétitions, a été organisé à la hâte, pour ne pas avoir une année sans aucune expérience sur l'époque d'application des engrais azotés.

Sans entrer dans les détails de l'expérience, disons que les engrais azotés ont été employés en quantités correspondant à 40 kilos d'azote à l'hectare. Le printemps fut sec, défavorable à l'action des engrais azotés. Les rendements enregistrés ont été :

	GRAIN qx	Azote % du grain à 15 % d'hum.
Témoin (essais sur 6 parcelles)	23.51	17.58
Sulfate d'amm., le 12 janvier (2 parcelles).....	24.60	19.66
— 21 février —	23.75	18.36
— 13 mars —	24.60	18.74
Nitrate de soude, le 12 janvier —	25.32	19.55
— 21 février —	25.52	19.45
— 18 mars —	23.30	20.80
Urée, le 12 janvier (1 parcelle).....	23.60	18.74
Nitrate de chaux amm., le 12 janvier —	28.40	—
— 21 février —	24.60	—
— 18 mars —	24.80	—
Nitrate de soude en deux fois, 28 févr. et 18 mars (2 parç.).	21.92	—

A part les résultats anormaux, donnés par la première application de nitrate de chaux et par l'application de nitrate de soude en deux fois, tous les autres résultats sont d'accord : la récolte sans engrais, après la jachère, est de 23 qx 5 par hectare; les engrais azotés essayés ont donné une augmentation variant entre 1 et 2 quintaux, augmentation faible.

2) En même temps que l'essai des engrais azotés après la jachère, nous avons entrepris un essai pareil sur l'Irakié, venant après la vesce, sur une terre argilo-calcaire, mais argileuse. Aucun engrais n'a été employé avant les semailles. Celles-ci ont été faites le 1^{er} décembre.

Les engrais azotés ont été essayés sur des parcelles de 20^{m2} (4 × 5^m) en quantités qui correspondent à 20 kilos d'azote à l'hectare.

Au cours de la végétation, l'action des engrais se manifestait très peu. Le champ avait un aspect très médiocre.

A la récolte, nous avons obtenu :

	GRAIN qx	Azote ‰ du grain à 15 ‰ hum.
Rendement des 4 témoins, rapporté à l'hectare..	7.93	15.77
Excédent dû au :		
Sulfate d'ammoniaque appliqué le 20 février sur 2 parcelles.....	0.19	16.21
Nitrate de soude — le 20 — — 2 —	3.97	
— — — le 18 mars — 2 —	0.87	
Urée — le 20 février — 2 —	0.61	16.72
Nitrate de chaux ammoniacal le 20 — — 2 —	1.92	
— — — le 18 mars — 2 —	1.52	

Comme le montrent ces résultats disparates, l'expérience est mal réussie à cause d'un nombre insuffisant de parcelles. Mais elle donne cependant une indication précieuse. Sur une terre lourde, ayant subi les pluies abondantes de décembre, les engrais azotés seuls n'ont pas pu relever sensiblement la récolte.

Faut-il considérer l'expérience comme non réussie ?

Evidemment, elle mérite des reproches, parce que les chiffres obtenus sont irréguliers, mais elle reste correcte. Une expérience peut être classée comme non réussie si les insectes ou les oiseaux ont endommagé quelques parcelles et n'ont pas touché les autres; si une inondation a envahi inégalement les parcelles et a créé d'autres causes de variation des rendements que celles dues à l'expérimentation, etc.

L'expérience est ici correcte, elle nous répond que l'augmentation moyenne due à tous les engrais azotés essayés est de 1 ql 51 de grain pour 20 kilos d'azote dépensés; c'est l'explication de cette action trop faible que nous n'avons pas réussi à trouver.

En effet, nous possédons déjà quelques éléments d'interprétation : nous connaissons que le champ après la vesce peut accumuler de 45 à 70 kilos d'azote nitrique, suivant sa préparation et son activité microbienne; supposons même qu'il contenait 40 kilos seulement d'azote nitrique; ajoutons qu'au cours de l'hiver le blé pouvait profiter de l'azote rendu assimilable par les microbes, et nous arrivons au chiffre de 60 kilos (au minimum) d'azote utilisable, qui devraient assurer une récolte de 15 quintaux au moins. D'autre part, en examinant la teneur du grain en azote, nous constatons une augmentation faible par les engrais... parce que ce n'est point l'azote qui manquait dans notre cas,

Nous ne pouvons pas accuser le manque d'eau, parce que le blé après vesce a laissé le sol plus humide que le blé après jachère : donc, non seulement la plante n'a pas pu utiliser convenablement l'azote, mais l'eau également reste en excédent.

Ayant ainsi serré le sujet, nous pouvons admettre que c'est un autre élément qui manque dans la terre « fatiguée », le plus probablement l'acide phosphorique; ou bien les mauvaises herbes ont gêné le développement du blé; ou bien le tassement trop grand du sol par les eaux de pluie a provoqué une certaine asphyxie des racines.

Les mauvaises herbes ont été arrachées à la main sur nos parcelles d'expériences pour éliminer leur action.

Si nous comparons les terres qui nous ont donné des déboires, leurs compositions respectives sont :

		Sable grossier		Sable fin		Argile et organiques	Humus	Azote	P ₂ O ₅	K ₂ O
		Siliceux	Calcaire	Siliceux	Calcaire					
Oued-Smar	0-30 cm.	220	0	410	(11.5)	358.5	7.05	1.45	0.63	6.8
	30-60 cm.	175	0	360	(12.2)	452.8	5.4	1.02	0.45	
Iraké 1930-31	0-30 cm.	127	68.5	182	280	342.5	4.3	1.17	1.50	
	30-60 cm.	125	63.0	138	300	374	5.5			

Ces chiffres indiquent une trop forte teneur en argile. Evidemment, chaque terre a ses défauts propres; à Oued-Smar, la terre manque totalement de calcaire et paraît être pauvre en acide phosphorique; mais celle du Service Botanique et Agronomique semble être bien constituée et riche; seule la teneur en argile est élevée.

Si la question n'est pas résolue, du moins on commence à voir qu'il faut chercher la solution dans l'aération insuffisante du sol, trop riche en argile, ou bien supposer que l'acide phosphorique n'est pas suffisamment assimilable et, pour restituer la fertilité à ce sol, il faut le laisser en jachère ou lui incorporer de l'acide phosphorique en quantité suffisante.

L'explication n'est pas prouvée, elle est seulement supposée, et elle reste à vérifier. Il est cependant important de constater que les mauvais rendements quelquefois constatés ne sont pas toujours imputables au manque d'azote,

1931-32

Nous avons choisi pour les expériences de cette année une terre riche, mais affaiblie par les récoltes précédentes. Nos analyses, sur les parcelles voisines, nous donnent les caractéristiques suivantes :

			Profondeur en cm.	
			0-30	30-60
Cailloux et gravier			76	21
Terre fine.....			924	979
% de terre fine : Sable grossier siliceux.....			217.5	180
— — calcaire.....			120	110
Sable fin siliceux.....			160	125
— — calcaire.....			255	303
Argile + organiques (+ solubles).			262 + 17.5	279 + 12
Humus.....			5	3.6
Azote 1.24		K ² O.....	3.8	
P ² O ⁵ 2.60		Mg O	6.6	

Le blé que nous avons choisi, l'Irakié, est assez exigeant, il était semé à la fin de l'assolement, après la vesce. Les parcelles ont été de 20^{m2} chacune, avec cinq répétitions pour chaque formule. Les formules essayées, établies à raison de 40 kilos d'azote par hectare, 300 kilos de superphosphate, 150 kilos de SO⁴ K², ainsi que l'indique le tableau qui suit, ont donné les résultats suivants (cette expérience fut conduite par M. V. NOVIKOFF, préparateur du laboratoire) :

		Rendement en grain		Azote % de grain sec	
		Sans super- potassique	Avec super- potassique	Sans super- potassique	Avec super- potassique
		Qx	Qx		
Sans azote.....		10.13	10.66	1.84	1.79
Nitrate de soude,	le 6 novembre.	10.32	12.64	1.77	1.63
— —	le 15 janvier..	16.26	14.58	1.92	1.77
— —	le 5 mars.....	13.23	12.78	2.12	2.18
Sulfate d'ammoniaque,	le 6 novembre.	10.21	12.07	1.77	1.78
— —	le 3 février....	13.33	13.02	1.98	1.98
— —	le 2 mars.....	12.94	13.31	1.98	1.94

La répartition des pluies a favorisé surtout l'action des engrais azotés appliqués au 15 janvier.

Cette expérience montre que l'application des engrais azotés en automne fut sans effet important; la meilleure date d'application des engrais azotés, à cause des conditions météorologiques particulières de l'année, n'est pas février, mais janvier.

Le superpotassique n'a pas eu une action importante; ainsi, l'analyse chimique des terres, si elle indique une bonne teneur en acide phosphorique et potasse, peut servir de guide, sous notre climat, dans l'emploi des engrais.

Cette expérience ne demande plus de commentaires, parce que l'épiaison a eu lieu à peu près le même jour sur toutes les parcelles et parce que les différences n'ont pas pu être saisies au moment de la maturité, cette dernière étant hâtée par le manque d'eau en mai.

On peut seulement remarquer que les parcelles ont été envahies de moutarde et mélilot et que l'action des engrais aurait été plus marquée en leur absence.

La teneur du grain en azote, déterminée par M. NOVIKOFF, confirme la règle générale qui dit que plus l'application est tardive, plus les grains sont riches en matières azotées.

On peut condenser les résultats obtenus dans les expériences en plein champ faites au Service Botanique et Agronomique de Tunisie, pour en avoir une impression plus entière. Comme toutes les expériences portaient principalement sur la détermination de la meilleure époque de l'emploi des engrais azotés, parmi lesquels nous nous sommes servi presque exclusivement du nitrate de soude et du sulfate d'ammoniaque, nous allons prendre seulement les meilleurs rendements de chaque année pour chercher la meilleure solution du problème.

Année	Culture précédente	Variété semée	Quantité d'azote du		Date de l'application	Augmentation de rendement du grain
			NO ₃ Na	SO ₄ Am ²		
1928-29....	jachère	Richelle 110 c	50		6 avril	Qx 4.64
—	—	—		50	15 mars	4.84
1929-30....	orge fourr.	Florence 135	25	25	variable	0
1930-31....	jachère	—	40		21 février	2.01
—	—	—		40	12 janvier	1.09
—	vesce	Irakié	20		20 février	2.00 environ
1931-32....	—	Irakié	40		15 janvier	6.13
—	—	—		40	3 février	3.20

Ce tableau permet de saisir que l'effet des engrais est variable, ainsi que la meilleure époque de leur application. Il faut en chercher la cause dans la diversité des conditions météorologiques.

La pluviométrie totale des années a été de :

1928-29.....	604 millimètres
1929-30.....	421 —
1930-31.....	505 —
1931-32.....	582 —

Comme, en 1929-30, les engrais azotés n'ont pas augmenté le rendement, on peut formuler la conclusion que, dans le cas d'une pluviométrie d'année égale ou inférieure à 420 millimètres, l'emploi des engrais azotés devient superflu dans une terre moyenne et bien préparée.

En 1930-31, l'augmentation de rendement a été assez faible. Quoiqu'il y eut quelques causes d'insuccès dues à l'exécution de cette expérience, on peut conclure que, dans les conditions d'une pluviométrie annuelle de 500 millimètres, les engrais azotés commencent à avoir une action favorable.

En 1928-29, l'augmentation de rendement a été régulière et assez notable. Dans les conditions de 600 millimètres de pluie, les engrais azotés deviennent un auxiliaire important dans la culture des céréales.

En 1931-32, dans le cas du nitrate de soude, on a enregistré une très grande augmentation de la récolte. La conclusion précédente se trouve confirmée.

Quant à la meilleure époque d'application de ces engrais, elle se déplace en relation avec la répartition des pluies. En 1928-29, les pluies importantes de mars ont déterminé l'action la plus favorable des applications tardives; en 1931-32, les conditions spéciales du mois de décembre (293 millimètres) ont privé la terre des réserves en azote assimilable, et l'application précoce, en janvier, d'une assez forte fumure azotée s'est montrée la plus avantageuse.

C. EXPERIENCES DANS LES BACS DE 90 CENTIMETRES DE PROFONDEUR

Ayant voulu, en 1930-31, expérimenter avec les terres fatiguées par les cultures précédentes, nous avons utilisé nos bacs métalliques de 90 centimètres de profondeur, comme c'est indiqué dans le tableau 11.

Les sept bacs ont étéensemencés en blé Mahon (rustique) faisant

suite au Florence de 1929-30. Nous avons essayé l'action du sulfate d'ammoniaque incorporé au sol à des époques de plus en plus tardives. L'azote incorporé au bac correspondait à 85 kilos par hectare et était toujours accompagné de superphosphate et de sulfate de potasse en quantités fortes. Les époques essayées sont indiquées dans le tableau qui suit.

La végétation a eu lieu dans des conditions normales, sauf une inondation d'un jour au mois de décembre, qui n'a pas eu de résultats fâcheux.

Les observations relatives à l'action du sulfate d'ammoniaque peuvent se résumer brièvement de la façon suivante :

Le tallage a eu lieu le 22 décembre; l'application de sulfate d'ammoniaque aux semailles l'a avancé de 7-10 jours. La première application (aux semailles) a provoqué une avance incontestable du N° 10 sur tous les autres : les plantes sont vigoureuses, de bonne taille et de belle couleur en janvier, février et début de mars. Dans la suite, les feuilles de la base commencent à jaunir d'abord (décomposition de la chlorophylle) et brunir (mort complète) beaucoup plus que chez les autres. Les plantes ont des feuilles très enroulées déjà le 31 mars : elles souffrent beaucoup plus de la sécheresse que les autres.

Le N° 9, qui a reçu le sulfate d'ammoniaque le 3 janvier, commence à changer de couleur vers le 10 janvier, la couleur se maintient supérieure au témoin, jusqu'au 10 avril au moins. Le développement des plantes est bon; le N° 9 manifeste le manque d'eau et d'azote plus tard, et moins que le N° 10.

Le N° 8 a une couleur très foncée le 31 mars; son développement foliacé est peu influencé par l'engrais.

Le N° 7, pour une raison inconnue, a été légèrement inférieur aux autres comme développement des feuilles et comme couleur.

Le N° 6, qui a reçu le sulfate d'ammoniaque le 10 mars, avait une belle couleur fin mars et au début d'avril. Il souffre moins de la sécheresse à la fin de mars que les N°s 10 et 9; le N° 8 manifestait un léger manque d'eau.

Le 30 avril, un mois avant la récolte, nous avons enregistré :

Feuilles vivantes				Couleurs des feuilles vivantes
N° 10	—	Moitié de la supérieure		
9	—	2 supérieures très enroulées		vert clair
8	—	2	—	assez verte
7	—	3	—	verte
6	—	2	—	très verte
5	—	5	pas	vert clair
4	—	2	—	vert clair

Ainsi, l'application du 20 février et celle du 10 mars seules agissent fortement sur l'alimentation azotée vers la fin d'avril; celle du 3 février, N° 8, s'épuise vers le 30 avril. Le sulfate d'ammoniaque agit donc pendant trois mois, durée qui est la même que celle de la nitrification.

Nous avons constaté que les extrémités des épis du N° 9 ont été stériles; un refroidissement au moment de la floraison est à supposer (gelée ?). Il indique le rendement, qui paraît anormal, comparé avec les autres chiffres.

L'épiaison et les résultats de la récolte sont réunis dans le tableau 22.

Ainsi, l'épiaison et la maturité ont été très régulièrement avancées par le sulfate d'ammoniaque; la hauteur, par contre, a été diminuée.

Le nombre d'épis obtenus à la récolte est indiqué par deux chiffres : le premier indique les épis bons (grands et lourds); le deuxième les épis petits. L'application de sulfate d'ammoniaque aux semailles, qui a beaucoup augmenté le tallage, a donné un grand nombre d'épis petits, insuffisamment développés. Toutes les autres applications n'ont pas augmenté sensiblement le nombre d'épis, qui est presque le même que chez le témoin sans azote, mais ont contribué à leur meilleur développement.

Le nombre des grains le plus élevé est obtenu avec l'application tardive de sulfate d'ammoniaque.

Ces dénombrements expliquent pourquoi le rendement en grain le meilleur est obtenu avec l'application tardive d'azote : elle n'augmente pas autant la dépense d'eau que l'emploi précoce et agit exactement au moment de la formation du grain.

Est-ce exact pour toutes les variétés du blé ? Il y a beaucoup de raisons pour le croire.

Cependant, les chiffres de rendement en grain n'indiquent pas un seul optimum, mais deux; le plus grand correspond à l'application d'engrais tardive du 10 mars, suivie d'un hersage (qui, dans les bacs, se fait aisément avec un couteau, mais qui est impossible dans les conditions de grande culture); un autre, presque aussi grand, correspond à l'application aux semailles; le blé montre donc deux époques ayant une grande importance physiologique :

1) germination, tallage et 2) formation du grain; autrement dit, 1) le premier mois après les semailles et 2) un mois avant l'épiaison à fin de la floraison.

Les résultats de cette expérience sont en contradiction avec ceux fournis la même année par Irakié en pleine terre; mais, pour des rai-

TABLEAU 22

*Expérience avec l'application de sulfate d'ammoniaque
à des époques différentes, conduite dans les bacs de 90 cm. de profondeur*

Service Botanique et Agronomique de Tunisie, 1930-31

N°		Epiaison	Maturité	Hauteur	Nb. d'épis	P. total	Grain	Nb. des grains	P. de 1000 grains	Aspect
10	aux semailles..	14. IV	20. V	79	16+10	90.050	13.509	313	43.16	vitreux, brun
9	3 janvier	15 —	21 —	77.5	15+3	78.400	8.427	183	46.05	
8	3 février.....	17 —	22 —	68.5	15+3	62.220	9.897	256	38.66	
7	20 février.....	21 —	26 —	71	15+3	56.500	12.343	300	41.14	
6	10 mars	20 —	26 —	83	16+2	39.250	13.783	350	39.38	
4	pas.....	21 —	27 —	84	10+6	39.920	8.135	187	43.48	50 % env. de farineux

Azote dans la récolte (les chiffres sont obtenus sur la récolte séchée à l'air)

N°	Azote, % de		Azote, en milligrammes dans la récolte du pot			Excédent sur témoin			Azote assimilé en % de l'employé	
	Paille	Grain	Paille	Grain	Total	Paille	Grain	Total	Grain	Total
10	0.207	1.578	158.32	213.13	371.45	98.80	105.88	204.68	21.2	40.9
9	0.277	2.191	193.56	184.63	378.19	134.04	77.38	211.42	15.5	42.3
8	0.279	2.099	146.02	207.75	353.77	86.50	100.50	187.00	20.1	37.4
7	0.280	1.885	124.05	232.66	356.71	64.53	125.41	189.94	25.1	38.0
6	0.277	1.924	70.44	265.20	335.64	10.92	157.95	168.87	31.6	33.8
4	0.187	1.318	59.52	107.25	166.77					

sons expliquées plus haut, l'application de l'engrais super-potassique ne pouvait pas se faire en automne; nous sommes certain que l'action des engrais azotés serait toute autre s'ils pouvaient être employés en complément d'une forte fumure phospho-potassique.

La teneur en azote a été déterminée par un dosage simple dans la paille et par le dosage en double dans le grain pour chaque numéro. La paille du témoin est la plus pauvre en azote. L'application du sulfate d'ammoniaque aux semailles relève peu cette teneur, mais augmente beaucoup la quantité de paille. Toutes les autres applications ont fourni une paille de même teneur azotée, mais la quantité de paille diminue régulièrement si l'on avance l'application de l'engrais vers le 20 mars.

Le grain, en général, mérite les mêmes remarques quant à sa richesse en azote.

Nous avons calculé également la fraction de l'azote de l'engrais qui a été utilisée par la récolte entière et par le grain à part. Si l'utilisation de l'azote par la récolte est la meilleure dans le cas d'une application précoce d'engrais azoté, l'utilisation par le grain se fait inversement, et l'optimum correspond, pour ce dernier, à une application tardive de l'engrais.

Nombreuses sont les personnes qui ne veulent pas prendre en considération ce qui est obtenu dans les pots, disant que dans les champs les choses se passent tout à fait différemment. Certes, un peu différemment, parce qu'il y a encore le sous-sol avec sa réserve en eau.

Pour ceux-ci, nous avons calculé nos rendements en bacs rapportés à l'hectare :

	Grain, en quintaux
N° 10.....	22,96
N° 9.....	14,33
N° 8.....	16,82
N° 7.....	20,98
N° 6.....	23,44
N° 4.....	13,84

Evidemment, on ne peut pas détruire des mauvaises herbes dans le champ aussi bien que dans un bac de 24 centimètres de côté; ni incorporer les engrais avec les mêmes soins. Mais, au lieu de sulfate d'ammoniaque, on peut utiliser les engrais nitriques, qui ne risquent pas de se volatiliser par un temps sec.



Nous avons cherché, en 1931-32, à comparer l'application d'azote

en automne avec celle de printemps, après la jachère ou après une autre culture. Malheureusement, les bacs avaient reçu une application d'engrais azotés l'année précédente, et l'action de ces engrais pouvait se superposer à l'action en étude. Pour cette raison, nous allons indiquer les résultats sans y insister outre mesure.

Le blé Irakié fut semé le 17 novembre.

Nous avons obtenu à la récolte :

TABLEAU 23

*Expérience avec l'application de l'urée en automne ou au printemps
conduite dans les bacs de 90 cm. de profondeur
Service Botanique et Agronomique de Tunisie, 1931-32*

N°	Hauteur (cm.)	Nombre de plantes	Nombre d'épis	Poids de la paille	Poids du grain	Application de l'urée date
1	90	6	10 + 3	24.200	12.450	4 novembre
2	90	6	9 + 2	26.600	14.200	3 février
3	80	6	7 + 2	14.950	9.350	(Témoin.)
4	81	6	10 + 3	25.450	15.200	3 février
6	75	6	7 + 3	15.300	8.500	(Témoin.)
7	80	6	9	21.550	13.250	4 novembre et 3 février.

Remarque. — Le bac 5 devait recevoir l'azote en automne seulement, mais les insectes du sol ont détruit la récolte et nous avons été obligé de l'exclure.

Nous avons avancé l'application printanière à cause des fortes pluies d'hiver. Les résultats obtenus sont encore une fois en faveur de l'application des engrais azotés au printemps, et sont, aussi bien après la jachère (dont l'excédent de la fertilité a été détruit par les pluies de décembre 1931) qu'après le blé, nettement supérieurs aux témoins.

D. CONCLUSIONS GÉNÉRALES DES EXPÉRIENCES AVEC LES VÉGÉTAUX

Ce bref exposé qui embrasse presque toutes les expériences sur les engrais azotés que nous avons eu la possibilité de réaliser, indique certainement que les conclusions que l'on peut formuler coïncident avec celles que nous a permis d'énoncer notre étude théorique (voir A, ch. V, résumé).

En général, l'activité microbienne des terres maintenues meubles est considérable; une culture de céréales se montre peu exigeante, et ceci explique des résultats beaucoup plus marqués que l'on obtient avec les autres cultures de courte durée, comme la pomme de terre, la tomate, etc.

L'étude des terres fatiguées (à la fin de l'assolement) démontre que leur fertilité, dont nous pouvons juger en nous basant sur les déterminations des quantités d'azote nitrique faites en automne, est inégale. Les terres argileuses deviennent d'une productivité faible qui se corrige difficilement par les engrais. Il est possible de présumer qu'en dehors de l'action déprimante des mauvaises herbes intervient, pour beaucoup, la mobilisation insuffisante des réserves de la terre par les microbes, en particulier la mobilisation de l'acide phosphorique.

Quant à la question principale de cette note, la question de l'azote, nous avons montré qu'un manque d'azote existe au printemps, au mois de mars (L. Y., 1929 b); nous avons montré ensuite, par l'étude des eaux de drainage, que ce manque peut se déplacer dans le temps et changer d'intensité, parce qu'il est déterminé principalement par l'importance et la distribution des pluies de l'année. Les expériences dans les champs démontrent l'augmentation des rendements de céréales par les engrais azotés, même après la jachère, mais cette augmentation est possible certaines années seulement : les années pluvieuses. Si le début de l'hiver est sec et si les pluies se rapportent au printemps, l'emploi des engrais azotés est superflu. Si les pluies de décembre et de janvier sont abondantes, l'application printanière des engrais azotés en couverture devient avantageuse; l'époque peut être choisie assez exactement en tenant compte de l'importance des pluies. Si le mois de décembre est très pluvieux, on peut faire l'application au milieu de janvier; si janvier est pluvieux, on peut se servir des engrais azotés même jusqu'à la fin de février. L'application des engrais azotés au mois de mars se montre souvent avantageuse, mais il faut qu'elle soit suivie de pluies suffisantes pour assurer son action.

Si, dans une terre riche et bien constituée, se trouvant dans une région à 400 millimètres de pluies annuelles, l'emploi des engrais azotés est possible (quoiqu'il demande beaucoup de circonspection), il est logique de penser que les régions plus pluvieuses, à 600 millimètres et au delà, permettent un emploi des engrais beaucoup plus régulier. Il serait bon de s'occuper particulièrement de ces régions, dont la productivité et la prospérité peuvent être considérablement relevées grâce à l'emploi des engrais.

Enfin, rappelons l'expérience avec la pomme de terre, à Maison-Carrée, pour dire que, même dans les régions où les engrais paraissent

sont superflus pour le blé, ils peuvent rendre des services avec les autres cultures servant à l'alimentation, à l'élevage ou à l'industrie, et que leur étude s'imposera le jour où l'activité économique du pays deviendra plus grande.

Ce travail, fait à un endroit déterminé, ne peut pas répondre à toutes les questions de la pratique, dans toutes les situations. Cependant, la plupart des terres de la Medjerdah, des Hauts-Plateaux de Constantine et d'Oranie étant argilo-calcaires, ces terres étant sous un climat plus ou moins identique, les conclusions de nos études peuvent servir utilement pour l'agriculture de ces régions. Nous espérons que nos études sur le régime de l'azote nitrique, sur les eaux de drainage et sur la nitrification des engrais contribueront à une meilleure compréhension du problème de l'azote dans les terres nord-africaines, placées dans des conditions spéciales de température et de pluviométrie.

Nous pouvons constater avec une certaine satisfaction que les recherches théoriques et les expériences sur le terrain, menées avec persévérance, ont permis de formuler les règles de l'emploi des engrais azotés. Chaque étude bien conduite doit aboutir à une réponse précise, soit positive, soit négative, et la nôtre en comporte une : les engrais azotés peuvent avoir leur place dans la culture des céréales, soit pour remédier à un retard considérable dans les semailles, soit pour remonter la productivité d'une terre épuisée par des cultures précédentes, soit dans le cas des pluies trop abondantes d'automne, d'hiver ou du début du printemps.

Fidèle à la règle d'énoncer nos conclusions avec beaucoup de prudence, nous préférons — peut-être au détriment de leur portée pratique immédiate — faire quelques observations limitatives qui ont pour but d'empêcher une généralisation trop hâtive de nos conclusions dans la pratique agricole. En effet, les terres que nous avons eu l'occasion d'étudier en utilisant la méthode de la culture dans les pots se montrent souvent très différentes. Nous en avons trouvé déjà trois qui ne réagissent pas à l'addition de l'azote et qui, par contre, accusent une réaction très nette avec l'acide phosphorique. Ainsi, il se rencontrera un nombre de cas pour lesquels les agriculteurs, même en observant les prescriptions relatives à la pluviométrie de l'année, constateront des résultats en opposition avec les nôtres. Pour éviter les aléas, il est à recommander de ne jamais commencer par des essais sur grande échelle. Il faut débiter toujours par des essais en petit, par de véritables expériences, soigneusement conduites sur de petites surfaces et comportant l'évaluation des rendements parcellaires. Il

est imprudent de juger seulement d'après l'aspect; les chiffres obtenus au battage peuvent souvent s'écarter notablement des impressions visuelles. Pour éviter les irrégularités dues à l'hétérogénéité des terres, il est à recommander d'opérer par la méthode des parcelles répétées, préconisée par M. F. BŒUF (1927), ou, au moins, par l'étude préliminaire du terrain décrite par AMIABLE (1922). Il n'est pas toujours nécessaire de se conformer rigoureusement à une doctrine; il suffit parfois de l'étudier et d'appliquer sa propre façon d'opérer, qui tient le compte de la théorie et des difficultés de sa réalisation dans la pratique. On peut faire des parcelles peu nombreuses, mais suffisamment longues pour aboutir à une solution heureuse du problème sans trop de complication. Mais il faut toujours vérifier l'action des engrais sur sa propre terre pendant quelques années de suite. Après seulement, on sera renseigné sur l'avantage économique de la pratique de l'application automnale ou printanière des engrais azotés.

Une autre remarque est relative aux variétés cultivées. Leur nombre est considérable et il tend à augmenter continuellement grâce à la sélection, qui a recours à l'introduction des variétés nouvelles ou à leur création par l'hybridation. Dans leur nombre, on peut distinguer les variétés précoces et les tardives. Il est à prévoir que les variétés précoces se montreront le plus souvent plus exigeantes; et, naturellement, l'application des engrais azotés en couverture ne pourra pas se faire plus tard que le 15 février, parce que l'épaison se manifeste souvent au début de mars.

En dehors de la précocité, il faut distinguer encore les variétés exigeantes et les variétés rustiques. Une ébauche d'étude a été réalisée en 1931-32 au Service Botanique et Agronomique de Tunisie et il est à souhaiter que les variétés soient étudiées non seulement à l'égard de leurs capacités intrinsèques (durée des différentes phases végétatives, résistance aux maladies, etc.), mais aussi par rapport à leurs exigences. Il est à prévoir que l'on enregistrera des cas dans lesquels, la même année et sur la même terre, une variété réagit beaucoup plus qu'une autre à une application d'engrais azotés en couverture.

Toutes ces raisons imposent une certaine prudence et le contrôle préliminaire par les expériences conduites sur de petites parcelles.

Annexe

Dosage de l'azote nitrique dans les eaux de drainage par la méthode de Grandval et Lajoux

L'eau recueillie est brassée et filtrée au besoin. On en prélève une quantité variable, de 1 à 100 cc., pour avoir environ 0 mgr. 1 d'azote nitrique. La prise est placée dans une capsule à bec et évaporée au bain-marie. Le résidu sec, après refroidissement, est traité par 1 cc. 5-2 cc. d'acide sulfo-phénique (3 gr. de phénol + 20 cc. d'acide sulfurique concentré) suivant la grandeur de la capsule. On aide la dissolution du résidu sec dans l'acide phénique au moyen d'un agitateur en verre. Après la dissolution complète, on verse dans la capsule près de 30 cc. d'eau, on agite avec le même agitateur et l'on transvase dans une fiole jaugée de 100 cc. On y verse également les eaux de 2 ou 3 lavages. On ajoute alors 7 à 10 cc. d'ammoniaque commerciale jusqu'à la réaction alcaline (odeur); on agite, on s'assure que la couleur jaune (du disulfonomononitrophénate d'ammonium) apparaît, on complète à 100 cc. après le refroidissement et l'on homogénéise le contenu de la fiole.

On compare la coloration obtenue avec l'échelle des solutions-types de 0 mgr. 3, 0 mgr. 1 et 0 mgr. 03 d'azote nitrique dans 100 cc., par exemple; un colorimètre est indispensable pour le dosage exact. Connaissant ainsi la teneur en azote nitrique de la prise, on rapporte facilement cette quantité à un litre.

Remarque. — L'acide sulfophénique doit être préparé au moins vingt-quatre heures d'avance. La préparation est facile : 3 gr. de phénol sont additionnés, dans une capsule de 20 cc., d'acide sulfurique à 66° B°; on aide à la dissolution des cristaux de phénol avec un agitateur. On n'a qu'à placer le réactif préparé dans un flacon bouché à émeri.

Autre remarque. — Dans le cas de la présence des chlorures dans les eaux de drainage, on recommande de les éliminer préalablement par l'addition d'une quantité convenable de sulfate d'argent.

Nos analyses ont été faites sans cette précaution.

Dosage de l'azote nitrique dans les terres

L'échantillon à analyser doit être choisi dans le champ avec quelques précautions. En effet, si l'on veut étudier l'accroissement de

l'azote nitrique dans la jachère, il faut éviter, en hiver, de choisir des cuvettes où l'eau se ramasse, en été, le voisinage des mauvaises herbes qui forment des touffes. Quelques cas ont été signalés dans nos notes précédentes. Malgré toutes les précautions, on risque de rencontrer des endroits anormaux où une motte de fumier, un cadavre d'animal ont modifié la composition. Il faut avoir un nombre aussi grand que possible d'analyses pour observer une marche générale régulière des résultats.

L'échantillon prélevé est débarrassé des cailloux sur un tamis de 5^{mm}; ce passage homogénéise la masse de terre. On homogénéise encore, et on prélève 250 gr. environ pour les faire traverser le tamis de 1^{mm} (bon pour l'été, mais trop serré pour l'hiver). La terre ainsi homogénéisée et débarrassée de gravier peut servir pour l'analyse.

Nous prenons 30 ou 15 grammes de terre humide présentant le volume approximatif de 10 ou de 5 cc. Cette prise est placée dans une capsule de 10 centimètres de diamètre. On l'humecte et, avec un doigt bien propre, on l'écrase pour disloquer les grumeaux; on ajoute de l'eau, on écrase encore, et l'on décante dans une fiole jaugée de 250 cc.; on répète l'opération comme dans l'analyse physique des terres. Finalement, avec une pissette, on fait rentrer les particules de sable dans la même fiole (on peut remplacer l'écrasement par le doigt par une simple agitation dans la fiole jaugée). On ajoute quelques centimètres cubes d'une solution de sulfate de magnésium pur pour coaguler l'argile; on complète à 250, on brasse. On filtre sur un filtre plissé, en ne récoltant pas les premières portions troubles.

La solution claire sert pour le dosage. Le volume prélevé doit contenir autant que possible 0 mgr. 1 d'azote nitrique. On le place dans une capsule de dimension convenable et l'on évapore au bain-marie.

On continue comme il est dit pour les eaux de drainage.

La méthode est assez précise et facile. La principale difficulté consiste à disposer d'entonnoirs, de capsules, etc., bien débarrassés de traces d'acide nitrique.

La coloration est stable et peut sans inconvénient être conservée même quelques jours (boucher), en attendant un jour bien éclairé pour le dosage colorimétrique.

Les solutions-types peuvent être préparées avec un nitrate pur (de soude ou de potasse); 100 mgr. d'azote nitrique du nitrate de potasse sont dissous dans 100 cc.; cette solution peut être diluée à volonté pour pouvoir prélever 0 mgr. 03 ou 0 mgr. 1 d'azote nitrique.

Calcul. — Supposons que 30 grammes de terre ont une humidité de 14 %. Le poids sec est de 25 gr. 800 et occupe le volume de 25,8 :

2,65 = 9 cc. 73. La solution contient dans 240 cc. 27 tout l'azote nitrique de l'échantillon.

Si l'on a prélevé 20 centimètres cubes pour l'évaporation, ils représentent $\frac{20}{240,27} \times 25.800$ gr. de terre sèche; si le colorimètre indique

une quantité de 0 mgr. 08 d'azote nitrique dans les 20 cc. évaporés, la teneur de la terre est :

$$\begin{array}{r} 0 \text{ mgr. } 08 \\ \hline \times 1.000 = 37 \text{ mgr. } 25 \\ 20 \\ \hline \times 25,800 \\ 240,27 \end{array}$$

par kilo de terre sèche.

— ~~—~~ —

Ouvrages consultés

- J.V. AMIABLE (1922) : Contribution à l'étude de l'hétérogénéité du milieu pédologique et les moyens d'y remédier dans les champs d'expériences. *Ann. Serv. Bot. de Tunisie*, 1921-22, p. 107.
- J.-V. AMIABLE (1925) : Contribution à la technique des essais comparatifs. *Ann. Serv. Bot. de Tunisie*, N° 3, p. 163.
- G. ANDRÉ (1921) : *Chimie du Sol*, éd. 1921, Paris, vol. I, p. 240.
- F. BŒUF (1921-22) : Application du calcul des probabilités... à l'évaluation des erreurs dans l'expérimentation agricole. *Ann. Serv. Bot. de Tunisie*, N° 2, p. 177.
- F. BŒUF (1927) : *Eléments de biologie et de génétique appliqués à l'amélioration des plantes cultivées*. Tunis.
- J.-S. BURD and J.-C. MARTIN (1931) : Secular and Seasonal Changes in Soils. *Hilgardia*, vol. 5, N° 15, avril.
- DEHÉRAIN (1892) : *Traité de Chimie Agricole*, Paris, p. 408.
- J. DUMONT (1909) : *La terre arable*, Paris, p. 234.
- G. GINESTOUS (1901) : *Les pluies en Tunisie*. Tunis.
- G. GINESTOUS (1906) : *Les régions naturelles de la Tunisie*. Tunis.
- G. GINESTOUS (1922) : *Conférences de météorologie*. Tunis.
- G. GINESTOUS (1927) : *Le régime des pluies en Tunisie pendant la période 1901-1925*.
- Ach. GRÉGOIRE (1928) : *Contribution à l'étude de l'acide phosphorique du sol*. Gand.
- GUEDROÏTZ (1929) : *Analyse chimique du sol* (en russe), Léninegrad, p. 459-60.
- A.-D. HALL (1906) : *Le sol en Agriculture*, traduction par A. Demolon, Paris, p. 321-332.
- R. LUCAS et M. HUSCHBERGER (1930) : Méthode de dosage de l'azote total dans les mélanges urée-nitrate. Cité d'après *Chimie et Industrie*. 1930, février, p. 465.
- MIÈGE : *Expérimentation agricole 1929-30 et 1930-31*. Rabat.
- A. PIEDALLU (1931) : *L'explosif et la colonisation*. Alger. (Aussi nombreuses autres communication : *C. R. Ac. Sc.*, *C. R. Ac. Agr.*, Société des Agriculteurs de l'Algérie.)
- I. POUGET et GUIRAUD (1909) : Sur la nitrification des sols en place. *C. R. Ac. Sc.*, 15 mars 1909, p. 725-727.
- I. POUGET et CHOUCHAC (1913) : Contribution à l'étude de la nutrition azotée des végétaux. *Ann. Sc. Agr. franç. et étr.*
- A. RONNA (1900) : *Rothamsted. Un demi-siècle d'expériences agronomiques de MM. Lawes et Gilbert*. Paris, p. 501.
- E.-J. RUSSELL : *Les conditions du sol et la croissance des plantes*, Paris, p. 187.
- C. SCHREIBER (1931) : *Le sol et les engrais*. Gembloux.

- H. SOULMAGNON (1929) : Recherche sur les chlorures apportés au sol par l'atmosphère. *Ann. Serv. Bot. de Tunisie*, t. VI.
- John A. WIDSTOE (1912) : *Dry-farming*. Paris.
- K. WOÏDICH (1929) : *Oesterr. chem. Ztg.*, t. 32, N° 21, p. 183 (cité d'après *Chimie et Industrie*, 1930, juillet, p. 37).
- L. YANKOVITCH (1929 a) : Terres du Service Botanique de Tunisie. *Ann. Serv. Bot. de Tunisie*, t. VI.
- L. YANKOVITCH (1929 b) : Emploi des engrais azotés dans l'Afrique du Nord (mêmes références que 1929 a).
- L. YANKOVITCH (1930 a) : Culture blé-jachère et emploi des engrais-azotés. *La Tunisie Agricole*, 1930, N° 1.
- L. YANKOVITCH (1930 b) : Recherches sur l'emploi des engrais chimiques azotés dans l'Afrique du Nord. *Le Bulletin des Engrais*, N° 36.
- L. YANKOVITCH (1930 c) : Etude préliminaire sur les assolements en Tunisie. *Ann. Serv. Bot. de Tunisie*, t. VII.
- L. YANKOVITCH et M. MATWEEFF (1930 d) : Influence des facteurs climatériques et des engrais sur la teneur des blés tunisiens en matières azotées et leur valeur boulangère. *Ann. Serv. Bot. de Tunisie*, t. VII.
-

SECONDE THESE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ :

LA PRÉPARATION INDUSTRIELLE DE L'ACIDE AZOTIQUE

Vu : *Le Président de thèse,*

MULLER.

Vu : *Le Doyen,*

ROUYER.

Vu et permis d'imprimer :

Alger, le 16 janvier 1933.

Le Recteur,

G. HARDY.

